

**POLITECNICO DI TORINO**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE  
IN INGEGNERIA PER  
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**



**TESI DI LAUREA**

Valutazione della qualità delle emissioni del termo-valorizzatore di Torino

*Relatore:*

Prof.ssa Maria Chiara Zanetti

*Correlatore:*

Prof.ssa Deborah Panepinto

*Correlatore esterno:*

Ing. Carlotta Musto

*Candidato:*

Alex Nebiolo

Marzo 2018

# Indice generale

Indice generale .....	II
Ringraziamenti .....	IV
Introduzione .....	VI
1 L'inceneritore di Torino .....	1
1.1 Descrizione generale del processo .....	4
2 Trattamento primario .....	7
2.1 Conferimento e ricevimento rifiuti .....	7
2.1.1 Sezione di stoccaggio.....	11
2.2 Quantità e caratteristiche del rifiuto relative al mercurio.....	12
2.2.1 In fase di progetto .....	12
2.2.2 In fase di esercizio .....	17
2.2.3 Il problema dei RAEE, delle pile e dei rifiuti di amalgama prodotti da interventi odontoiatrici in Regione Piemonte.....	21
3 Problema emissione mercurio .....	42
3.1 Strumentazione di monitoraggio .....	46
3.2 Limiti di emissione.....	47
3.2.1 Superamento limiti.....	51
3.2.2 Analisi di speciazione del mercurio.....	88
4 Trattamento secondario .....	105
4.1 Descrizione generale del processo di trattamento fumi .....	105
4.2 Componenti.....	106
4.2.1 Elettrofiltro.....	106
4.2.2 Reattore a secco .....	107
4.2.3 Filtro a maniche .....	108
4.2.4 Reattore catalitico SCR.....	111
4.2.5 Ventilatore di tiraggio e silenziatore.....	114

5	Modifiche trattamento per gestione mercurio .....	115
5.1	Controllo rifiuti in ingresso.....	115
5.2	Modifica parziale del sistema di backup di alimentazione carbone attivo	116
5.3	Sistema SCR .....	118
6	Analisi emissioni anomale.....	120
6.1	Analisi eventi anomali.....	126
	Conclusioni .....	149
	Allegati.....	153
	Indice delle figure .....	i
	Indice delle tabelle .....	ii
	Bibliografia .....	vi

## Ringraziamenti

Dopo 5 mesi molto intensi, sia dal punto di vista della mia formazione professionale, sia dal punto di vista della mia crescita personale, finalmente il giorno tanto atteso è arrivato.

Vorrei spendere due parole di ringraziamento nei confronti di tutte le persone che mi hanno sostenuto e aiutato durante questo periodo.

Prima di tutto, vorrei ringraziare rispettivamente la mia relatrice e la mia correlatrice, le professoresse M.C. Zanetti e la professoressa D.Panepinto per i loro importanti consigli, e soprattutto per avermi dato l'opportunità di svolgere questa tesi, che mi ha suscitato molto interesse e curiosità.

Un ringraziamento particolare va alla mia correlatrice esterna, l'Ing. C.Musto per la sua incredibile disponibilità, senza la quale non sarei mai riuscito a svolgere questo studio con così tanta professionalità e approfondimento.

Inoltre vorrei ringraziare il Dott. A.Bertello per i suoi preziosi consigli, che si sono rivelati fondamentali nell'analisi dati.

Vorrei infine ringraziare i miei genitori per i loro saggi consigli ed il loro appoggio, non solo in questo periodo ma per tutta la mia carriera universitaria. Sono sempre stati al mio fianco.

Per ultima ma non meno importante, la mia ragazza. Ci siamo sempre sostenuti a vicenda, nella buona e nella cattiva sorte, sia durante le fatiche e lo sconforto che hanno caratterizzato il nostro percorso, sia nei momenti di gioia e soddisfazione per il raggiungimento di questo traguardo.

Un sentito grazie a tutti!

Alex Nebiolo.

Torino, 26 marzo 2018.



## Introduzione

La normativa dell'Unione Europea - ripresa in Italia dal D.Lgs. 152/2006 - ha stabilito che la gestione dei rifiuti deve avvenire secondo il seguente ordine di priorità:

- i. Prevenzione e riduzione della produzione di rifiuti, il che consiste in:
  - Un insieme di politiche volte a disincentivare, penalizzare economicamente o addirittura vietare la produzione di materiali e manufatti a ciclo di vita molto breve e destinati a diventare rifiuti senza possibilità di riuso;
- ii. Riutilizzo e riciclo, dove per:
  - Riutilizzo si intende usufruire di un oggetto che non è ancora diventato rifiuto;
  - Riciclo si intende recuperare e riusare materiali di scarto e di rifiuto il che ne comporta una trasformazione.
- iii. Utilizzazione come combustibile e recupero energetico, in impianti di incenerimento o co-incenerimento per la produzione di energia elettrica e/o termica;
- iv. Conferimento in discarica.

Una corretta gestione dei rifiuti prevede la raccolta differenziata e la gestione del residuale. In particolare i rifiuti raccolti indifferenziatamente sono naturalmente molto più difficili da trattare di quelli raccolti in modo differenziato. Possono essere seguite tre strade principali:

- Trattamenti a freddo, ovvero separazione e parziale recupero di materiali, biostabilizzazione e conferimento in discarica;
- Trattamenti a caldo ovvero incenerimento tal quale o a valle di separazione e produzione di CDR, sfruttando l'elevato potere calorifico, e conferimento in discarica;
- Conferimento diretto in discarica.

In ogni caso è evidente che gli inevitabili scarti, dei primi due metodi sopra citati, finiranno in discarica.

Il comune di Torino, secondo il *Rapporto sullo stato del sistema di gestione dei rifiuti* del 2016 pubblicato dalla Città Metropolitana di Torino, nel 2015 ha avuto una produzione totale di rifiuti pari a 1.033.916 tonnellate di cui:

- il 51,8% da raccolta differenziata;
- il 3,8% smaltito in discarica;
- il 2,3% inviato a pretrattamento;
- l'1,4% derivante dal recupero delle terre da spazzamento stradale;
- 39,7% utilizzato come combustibile con recupero energetico dall'inceneritore.

Inoltre è importante notare che si è registrata una riduzione nella produzione dei rifiuti rispetto al 2014 pari allo 0,3%.

Il termovalorizzatore di Torino, a servizio, oltre che della Città anche di buona parte della Provincia, è un impianto finalizzato allo smaltimento di rifiuti attualmente non recuperati, che valorizza l'energia in essi contenuta, producendo elettricità e calore, e rappresenta l'anello conclusivo (oltre al conferimento in discarica che dovrà peraltro via via sempre più ridursi) del sistema integrato di gestione dei rifiuti in provincia di Torino.

Nel 2014, l'inceneritore che ha una potenzialità di smaltimento pari a 421.00 t/a, ha trattato un quantitativo di rifiuti pari a 420.500 tonnellate mentre nel 2015, 472.756 tonnellate, con un aumento pari a 7,7% di rifiuti smaltiti. Tale aumento è imputabile all'articolo 35 del decreto sblocca Italia che ha permesso all'inceneritore di lavorare fino alla sua massima potenzialità, quindi per un quantitativo massimo che dipende dal pci del rifiuto e dalle caratteristiche della griglia. Inoltre a seguito di tale decreto è possibile ricevere rifiuti appartenenti ad altre regioni. In particolare, nel 2015, in Piemonte si sono trattati rifiuti provenienti dalla Liguria.

L'impianto si sviluppa su tre linee di combustione e depurazione fumi uguali e indipendenti e dispone, inoltre, di un sistema di monitoraggio indipendente delle emissioni, costantemente sorvegliato da ARPA.

In particolare:

- le 3 griglie Martin dell'impianto di incenerimento di Torino sono raffreddate ad aria con ricircolo fumi che è la tecnologia ad oggi più consolidata nel settore;
- le 3 linee di depurazione fumi sono composte come segue:

1. Elettrofiltro;
2. Reattore a secco;
3. Filtro a maniche;
4. Reattore catalitico SCR;
5. Ventilatore di tiraggio e silenziatore.

Il termovalorizzatore può operare in assetto solo elettrico producendo annualmente l'energia corrispondente al fabbisogno di circa 175.000 famiglie di tre persone, oppure in assetto cogenerativo, cioè fornendo sia energia elettrica sia termica per il teleriscaldamento, generando ogni anno l'energia termica in grado di scaldare 17.000 abitazioni da 100mq e l'elettricità per il fabbisogno di circa 160.000 famiglie. Il recupero dell'energia contenuta nei rifiuti permette, quindi, un risparmio di petrolio equivalente (TEP) differente a seconda del tipo di assetto utilizzato. In particolare:

- In assetto solo elettrico si risparmia un quantitativo pari a 32.000 TEP/a;
- In assetto cogenerativo si risparmia un quantitativo pari a 75.500 TEP/a;

L'inceneritore di Torino per quanto concerne le emissioni atmosferiche da esso prodotte, grazie al sistema di depurazione fumi adottato, ha registrato emissioni sempre al di sotto dei limiti di legge, ma a partire dalla fine del 2014 ha conclamato una criticità legata ad un'anomala presenza di mercurio nelle emissioni che è stata oggetto, nel tempo, di numerosi interventi correttivi, che hanno riguardato sia l'aspetto impiantistico che gestionale, e che hanno impegnato la Società nella ricerca delle possibili fonti e dei rifiuti correlabili al mercurio.

L'obiettivo del presente elaborato è di analizzare tale problema emissivo cercandone le possibili cause. Tale analisi parte dallo studio del trattamento primario, ossia dalla gestione e dalla raccolta del rifiuto nel comune di Torino, soffermandosi in modo particolare sulle tipologie di rifiuto che contengono mercurio e che svolgono il ruolo di potenziali contaminanti; tali tipologie di rifiuto sono indicate nel documento Best available techniques Reference document (BREFs waste incineration) del 08/2006 e nel successivo formal Draft.

Successivamente ci si soffermerà sul trattamento secondario, ossia sull'impianto di depurazione dei fumi, analizzando l'andamento delle emissioni di mercurio dall'avvio dell'impianto fino al termine del 2017, per cercare di analizzarne l'evoluzione e le possibili cause scatenanti.

Infine, si proporrà un'analisi dettagliata di dati inerenti ad emissioni anomale dovute a rilasci emissivi da parte del reattore SCR descrivendone le condizioni al contorno.

La presente tesi si sviluppa su 9 capitoli ed in particolare:

1. *L'inceneritore di Torino*, in cui si fa riferimento all'art.15 del D.Lgs. 152/2006 per fornire la definizione di inceneritore, oltre all'inquadramento territoriale dell'impianto;
2. *Trattamento primario*, in cui si analizzano:
  - a. le strutture dell'impianto adibite al ricevimento e allo stoccaggio del rifiuto;
  - b. la composizione elementare del rifiuto teorico in ingresso ipotizzata in fase di progetto e l'effettiva quantità di mercurio nei rifiuti conferiti all'impianto;
  - c. il problema dei RAEE, delle pile e dei rifiuti di amalgama prodotti da interventi odontoiatrici in Regione Piemonte, fornendo una panoramica dei dati di raccolta e smaltimento di tali rifiuti, contenenti mercurio, sia in Regione Piemonte che nel Comune di Torino.
3. *Problema emissioni mercurio*, in cui si fornisce:
  - a. una descrizione cronologica dell'evoluzione del sistema di monitoraggio delle emissioni dell'inceneritore di Torino;
  - b. una sintesi dell'evoluzione della problematica dal momento in cui si è riscontrata sino ad oggi e di quanto via via posto in essere per far fronte a tale criticità;
  - c. una panoramica della normativa vigente espressa nel D.Lgs. 46/2014 inerente i limiti emissivi massimi consentiti per ciò che concerne il mercurio, da parte di un impianto di incenerimento. Inoltre si forniscono alcune indicazioni in merito alla pericolosità/tossicità del mercurio sulla salute umana.
4. *Trattamento secondario*, in cui si fornisce una panoramica della linea di depurazione fumi adottata dall'impianto di incenerimento soffermandosi sui principali dispositivi che la costituiscono;
5. *Modifiche trattamento per gestione mercurio*, in cui si indicano le modifiche e/o i procedimenti che la società TRM ha implementato per

fronteggiare le criticità esposte nel capitolo *Problema emissioni mercurio*.

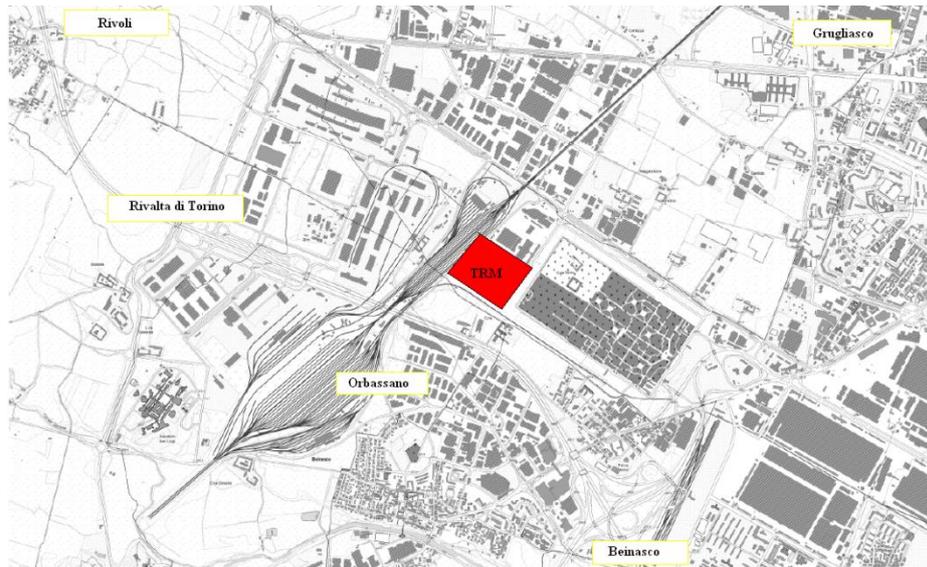
6. *Emissioni anomale*, in cui si sono analizzati i casi anomali di potenziale accumulo di mercurio nell'impianto. Tali casi si verificano quando si registra una sensibile presenza di Hg a camino in assenza di valori eccezionali in caldaia. Sono stati riscontrati e quindi analizzati 19 eventi anomali.

# 1 L'inceneritore di Torino

All'art.15 *Modifiche al Titolo III della Parte quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni* del D.Lgs. 4 marzo 2014 n. 46, in particolare alla modifica dell'Articolo 237-ter è indicata alla lettera b) la definizione di impianto di incenerimento come segue:

Qualsiasi unità e attrezzatura tecnica, fissa o mobile, destinata al trattamento termico di rifiuti con o senza recupero del calore prodotto dalla combustione, attraverso l'incenerimento mediante ossidazione dei rifiuti, nonché altri processi di trattamento termico, quali ad esempio la pirolisi, la gassificazione ed il processo al plasma, a condizione che le sostanze risultanti dal trattamento siano successivamente incenerite. Nella nozione di impianto di incenerimento si intendono compresi: il sito e tutte le linee di incenerimento, nonché i luoghi di ricezione dei rifiuti in ingresso allo stabilimento, i luoghi di stoccaggio, le installazioni di pretrattamento in loco, i sistemi di alimentazione in rifiuti, in combustibile ausiliario e in aria di combustione, le caldaie, le installazioni di trattamento o stoccaggio in loco dei residui e delle acque reflue, i camini, i dispositivi ed i sistemi di controllo delle operazioni di incenerimento, di registrazione e monitoraggio delle condizioni di incenerimento. Se per il trattamento termico dei rifiuti sono utilizzati processi diversi dall'ossidazione, quali ad esempio la pirolisi, la gassificazione o il processo al plasma, l'impianto di incenerimento dei rifiuti include sia il processo di trattamento termico che il successivo processo di incenerimento.

L'inceneritore di Torino è localizzato nella zona sud della provincia di Torino in località Gerbido. Copre un'area di 99.901 m<sup>2</sup>.



**Figura 1.1 - Inquadramento territoriale TRM**

L'edificio centrale ha una superficie coperta di 22.020 m<sup>2</sup>, ha un'altezza massima di 50 m mentre il camino si innalza fino a 120 m.



**Figura 1.2 - TRM vista dall'alto**

*Fonte:* GIT Gruppo Ingegneria Torino (2015), TRM S.p.a. – Progetto esecutivo dell'edificio stazione TLR, <http://gruppoting.to.it/blog/news-tags/git-sicurezza/page/2/>



**Figura 1.3. TRM vista frontale**

*Fonte:* IRENINFORMA (2016), Gruppo Iren: acquisto il controllo di TRM, <https://www.ireninforma.it/acquisito-il-controllo-di-trm>

Oltre all'edificio principale l'impianto consta delle seguenti strutture civili:

- Portineria
- Magazzino ed officine
- Edificio principale, a sua volta costituito da:
  - Avanfossa di scarico RSU
  - Edificio fossa di stoccaggio RSU
  - Edificio caldaie e trattamento fumi
  - Edificio turbo gruppo
  - Edificio sala controllo
  - Edificio stoccaggio scorie
  - Edificio stoccaggio ceneri e reagenti chimici
  - Camino
- Edificio scambiatore di teleriscaldamento
- Torri evaporative e vasche di raccolta acqua
- Edificio demineralizzazione acqua e centrale antincendio
- Area ed edificio sottostazione elettrica
- Edificio uffici tecnici
- Edificio amministrazione
- Stazione gas metano

L'edificio principale dell'impianto ospita il processo principale dello stesso, ovvero la termovalorizzazione del rifiuto e pulizia dei gas di scarico; tale processo si articola su tre linee parallele ed uguali di incenerimento e trattamento fumi.

TRM S.p.A. - Trattamento Rifiuti Metropolitan, è la società che, su incarico dell'Associazione d'ambito Torinese per il governo dei rifiuti, attualmente gestisce il termovalorizzatore della Città Metropolitana di Torino; la progettazione e la costruzione dell'impianto è stata affidata all'associazione temporanea d'impresa (ATI) costituita da CNIM (mandataria dell'ATI), UNIECO e Coopsette.

Il termovalorizzatore, che è entrato in servizio nel 2013, è un impianto finalizzato al trattamento dei rifiuti non altrimenti recuperabili a valle della raccolta differenziata.

Ognuna delle tre linee di trattamento, è progettata per 7.800 ore di funzionamento all'anno con un fattore di utilizzo del 80%; la capacità nominale dell'impianto è pari a 67,5 t/h di rifiuti (3 linee da 22,5 t/h), il carico termico

nominale dell'impianto è pari a 206,25 MWt (3 linee da 68,75 MWt) e il PCI di progetto è pari a 11 MJ/kg (la griglia permette il trattamento di rifiuti con potere calorifico compreso tra 6.000 e 16.000 kJ/kg).

Il suo scopo è di valorizzare l'energia in essi contenuta producendo elettricità e calore e costituisce, pertanto, l'anello conclusivo del sistema integrato di gestione dei rifiuti; la fornitura di calore per la rete di teleriscaldamento permetterà, una volta in esercizio, di sostituire oltre 14.000 caldaie unifamiliari.

Il progetto dell'impianto è stato elaborato tenendo in considerazione le migliori tecniche disponibili (BAT) per l'incenerimento dei rifiuti e per il trattamento dei fumi prodotti dalla combustione, e seguendo le indicazioni della Commissione di Alta Specializzazione istituita dalla Provincia di Torino, che ha fornito le indicazioni per la realizzazione di un sistema ad alta sostenibilità tecnica ed ambientale.

## 1.1 Descrizione generale del processo

Il rifiuto è conferito all'impianto tramite gli automezzi delle aziende che ne curano la raccolta. Prima di entrare in impianto, quando ancora si trova sugli automezzi di conferimento, il rifiuto è sottoposto al controllo di radioattività tramite un sistema di monitoraggio dinamico a portale. La pesatura degli automezzi di trasporto materiali è effettuata sia in ingresso che in uscita dall'impianto. Essa riguarda sia i rifiuti che tutti gli altri materiali che entrano ed escono dall'impianto: scorie, residui, reagenti, materiali recuperati, materiali da inviare in discarica, ecc.. Gli automezzi di conferimento, dopo la pesatura, raggiungono l'avanfossa, un locale coperto antistante le 10 bocche di scarico. Tale locale rimane in lieve depressione per evitare la fuoriuscita di odori. Tutti i rifiuti solidi, non definibili come ingombranti, vengono scaricati, in una fossa chiusa, direttamente dagli automezzi ribaltabili o dotati di mezzi propri di espulsione.

All'interno della fossa i rifiuti sono mescolati tramite 2 carro ponte con benna a polipo della capacità di 12 m<sup>3</sup> ciascuna. Le benne servono anche a trasferire il rifiuto dalla fossa alle tre tramogge di carico (una per ciascuna linea di combustione) che convogliano il rifiuto nei forni.

Anche il vano fossa è in depressione rispetto all'esterno. Il carro ponte e la benna sono manovrati da un gruista, la cui cabina è posta su di un lato del vano della fossa,

in posizione rialzata e con ampia vetrata, in modo da consentire la totale visibilità della fossa.

Il rifiuto, dopo essere entrato in caldaia dalla tramoggia di carico, è spinto da un alimentatore oleodinamico a cassetto sulla griglia di combustione. Essa è del tipo "mobile", ovvero un piano inclinato di barrotti fissi e mobili alternati, atti a rimestare ed a far scivolare il rifiuto verso il basso durante la combustione.

Le scorie di combustione sono raccolte in fondo alla griglia e convogliate allo spegnimento in apposite "gondole" piene d'acqua; quindi vengono stoccate in una fossa dedicata e inviate in discarica tramite automezzi. Tali scorie sono classificate come non pericolose. Le ceneri più leggere sono invece parzialmente raccolte nella seconda parte della caldaia, grazie ad opportune tramogge e sono stoccate in altri sili. Tali ceneri sono classificate come pericolose.

Le caldaie sono progettate per realizzare la migliore combustione del rifiuto con il minore grado di emissioni inquinanti, compatibilmente con la tecnologia attualmente disponibile. Il combustibile è costituito dal rifiuto stesso. L'aria primaria di combustione (aspirata dall'avanfossa mettendola in depressione) è preriscaldata a 130 °C con vapore spillato dal ciclo; quindi è insufflata sotto la griglia e, raggiunge la prima zona di combustione, dove il rifiuto comincia a bruciare.

Successivamente, i gas così liberati, ancora ricchi di potere calorifico, raggiungono la seconda zona di combustione, sopra la griglia, dove è insufflata l'aria comburente secondaria; essa è prelevata dal locale caldaie, preriscaldata e mandata a completare la combustione dei rifiuti. I fumi attraversano quindi le sezioni radianti della caldaia, costituite da pareti membranate in cui evapora l'acqua del ciclo termico, e, dopo una doppia svolta ad U, arrivano nella zona convettiva orizzontale dove scambiano calore con successivi fasci tubieri (surriscaldatori ed economizzatori) sempre percorsi internamente da acqua o vapore.

Per ottenere una combustione soddisfacente, la norma prevede che i fumi di combustione permangano ad una temperatura superiore ad 850 °C per un tempo maggiore di 2 s, nella zona di post-combustione situata nel primo canale radiante, sopra la griglia di combustione. Per poter rispettare sempre questa condizione sono presenti dei bruciatori ausiliari a gas naturale che entrano in funzione qualora la temperatura dei fumi tendesse a scendere al di sotto di 850°C. Nella parte bassa della griglia sono situati altri due ulteriori bruciatori, utilizzati per l'avviamento.

Allo scopo di realizzare una maggiore uniformità nella distribuzione termica sugli scambiatori e di ridurre le emissioni inquinanti (specialmente di NOx), è presente un circuito di ricircolo fumi, che preleva parte dei gas di scarico a valle dell'elettrofiltro e la convoglia in caldaia a livello della zona di combustione secondaria. I fumi lasciano poi la caldaia ad una temperatura di circa 220 °C e vanno al trattamento fumi (descritto nel dettaglio nel capitolo 8. *Trattamento secondario*).

## 2 Trattamento primario

Come riportato nella revisione del documento Bref (BAT reference documents) del 05/2017, l'unica tecnica primaria rilevante per prevenire le emissioni di mercurio in aria è quella legata ai sistemi che prevengono o controllano, se possibile, la presenza di mercurio nel rifiuto, che nel dettaglio sono:

- Raccolta differenziata efficiente dei rifiuti che possono contenere metalli pesanti, ad es. celle, batterie, amalgami dentali ecc;
- Notificare ai produttori di rifiuti la necessità di separare il mercurio;
- Identificazione e/o restrizione della ricezione di potenziali rifiuti contaminati da mercurio
  - tramite campionamento e analisi dei rifiuti dove questo è possibile
  - tramite una campagna mirata di campionatura/analisi;
- Dove è nota la ricezione di tali rifiuti – eseguire un controllo aggiuntivo per evitare il sovraccarico della capacità del sistema di abbattimento.

### 2.1 Conferimento e ricevimento rifiuti

È importante riconoscere che a monte del processo di incenerimento, la qualità e la modalità di raccolta locale dei rifiuti può influenzare la natura del materiale ricevuto all'impianto di incenerimento, e quindi il suo rendimento.

All'art.15 *Modifiche al Titolo III della Parte quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni* del D.Lgs. 4 marzo 2014, n. 46 *Emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento) - Attuazione direttiva 2010/75/UE*, è presente la modificazione avvenuta per l'art. 237-septies *Consegna e ricezione dei rifiuti*. Si riporta di seguito tale articolo.

1. “Il gestore dell'impianto di incenerimento o di coincenerimento adotta tutte le precauzioni necessarie riguardo alla consegna e alla ricezione dei rifiuti per evitare o limitare per quanto praticabile gli effetti negativi sull'ambiente, in particolare l'inquinamento dell'aria, del suolo, delle acque superficiali e sotterranee nonché altri effetti negativi sull'ambiente, odori e rumore e i rischi

- diretti per la salute umana. Tali misure devono soddisfare almeno le prescrizioni di cui ai commi 3, 4 e 5.
2. Prima dell'accettazione dei rifiuti nell'impianto di incenerimento o di coincenerimento, il gestore determina la massa di ciascun tipo di rifiuti, possibilmente individuati in base all'elenco europeo dei rifiuti.
  3. Prima dell'accettazione dei rifiuti pericolosi nell'impianto di incenerimento o nell'impianto di coincenerimento, il gestore raccoglie informazioni sui rifiuti al fine di verificare l'osservanza dei requisiti previsti dall'autorizzazione, in particolare quelli di cui all'articolo 237-sexies.
  4. Le informazioni di cui al comma 3 comprendono quanto segue:
    - a. tutti i dati di carattere amministrativo sul processo produttivo contenuti nei documenti di cui al comma 5, lettera a.;
    - b. la composizione fisica e, se possibile, chimica dei rifiuti e tutte le altre informazioni necessarie per valutarne l'idoneità ai fini del previsto processo di incenerimento e coincenerimento;
    - c. le caratteristiche di pericolosità dei rifiuti, le sostanze con le quali non possono essere mescolati e le precauzioni da adottare nella manipolazione dei rifiuti.
  5. Prima dell'accettazione dei rifiuti pericolosi nell'impianto di incenerimento o di coincenerimento il gestore applica almeno le seguenti procedure:
    - a. controllo dei documenti prescritti ai sensi della Parte quarta, e, se del caso, di quelli prescritti dal regolamento (Ce) n. 1013/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 giugno 2006, relativo alla spedizione di rifiuti e dalla legislazione in materia di trasporto di merci pericolose;
    - b. ad esclusione dei rifiuti sanitari pericolosi a rischio infettivo e di eventuali altri rifiuti individuati dall'autorità competente, per i quali il campionamento risulti inopportuno, devono essere prelevati campioni rappresentativi. Questa operazione va effettuata, per quanto possibile, prima del conferimento nell'impianto, per verificarne mediante controlli la conformità all'autorizzazione nonché alle informazioni di cui ai commi 3 e 4, e per consentire alle autorità competenti di identificare la natura dei rifiuti trattati. I campioni sono conservati per

almeno un mese dopo l'incenerimento o il coincenerimento dei rifiuti da cui sono stati prelevati.

6. L'autorità competente, in sede di autorizzazione, può concedere deroghe ai commi 2, 3 4 e 5, lettera a., per gli impianti di incenerimento o di coincenerimento che sono parte di un'installazione di cui al Titolo III-bis della Parte seconda a condizione che inceneriscano o coinceneriscano esclusivamente i propri rifiuti, nel luogo in cui gli stessi sono stati prodotti, e che venga garantito il rispetto delle previsioni del presente titolo, anche mediante la prescrizione di misure specifiche che tengano conto delle masse e delle categorie di tali rifiuti”.

Il documento BREF (BAT – best available techniques – Reference Document) “Waste Incineration” pubblicato dalla Commissione Europea nel mese di agosto 2006 (documento per il quale è attualmente in corso il processo di revisione) indica gli impatti delle diverse frazioni di rifiuto rimosso nel processo di incenerimento come segue:

<b>Frazione rimossa</b>	<b>Primo impatto sui residui rimasti</b>
Vetri e metallo	Aumento del potere calorifico Diminuzione della quantità di metalli recuperabili nelle scorie
Carta e plastica	Diminuzione del potere calorifico Possibile riduzione dei carichi di cloro se è PVC
Rifiuti organici	Riduzione dei carichi di umidità Aumento del potere calorifico netto
Rifiuti ingombranti	Riduzione della necessità di rimozione/distruzione di tali rifiuti
Rifiuti pericolosi	Riduzione del carico metallico pericoloso Riduzione di altre sostanze come Hg, Cl, Br

**Tabella 2.1 - Primo impatto della selezione dei rifiuti sui rifiuti residui**

Si considera la frazione rimossa in quanto le modalità di riciclaggio e/o raccolta differenziata possono implicare che alcune frazioni del rifiuto vengano rimosse dai rifiuti indifferenziati i quali sono la materia prima dell'inceneritore.

Il conferimento dei rifiuti all'impianto di termovalorizzazione avviene con i normali mezzi di raccolta gommati ad opera di vari gestori, più importante dei quali è l'AMIAT che effettua la raccolta per l'area di Torino.

Prima di entrare in impianto, quando ancora si trova sugli automezzi di conferimento, il rifiuto è sottoposto al controllo radioattività tramite un sistema di monitoraggio dinamico a portale. Il sistema consente di rivelare la presenza di sorgenti radioattive tramite la rilevazione della radiazione gamma. Esso esegue il monitoraggio in modo dinamico: i veicoli vengono cioè sottoposti a scansione mentre passano attraverso l'area di misura senza fermarsi; è comunque prevista la possibilità di controlli in modo 'statico' con sosta al di sotto del portale. Quando non ci sono veicoli da misurare, il sistema esegue continui aggiornamenti del fondo (la radioattività naturale sempre presente in ogni luogo, ma che varia a seconda del luogo, dell'ora e delle condizioni atmosferiche). Quando i sensori di prossimità segnalano l'arrivo di un veicolo, il sistema interrompe l'aggiornamento del fondo ed attiva la misura. In caso di superamento della soglia prevista, il sistema aziona l'allarme. Un analogo procedimento di rilevazione interessa gli automezzi in uscita dall'impianto.

Oltre al controllo radioattività, rientra nell'attività di ricevimento dei rifiuti anche il sistema di pesatura, eseguita sugli automezzi di trasporto materiali sia in ingresso che in uscita dall'impianto. La pesatura riguarda infatti sia i rifiuti che tutti gli altri materiali che entrano ed escono dall'impianto: scorie, residui, reagenti, materiali recuperati, materiali da inviare in discarica, ecc.

È stata prevista anche la possibilità di acquisizione del peso senza la necessità di sosta dell'automezzo sulla pesa (modalità di pesatura dinamica).

Un ulteriore strumento previsto dal progetto per mantenere sotto controllo ciò che viene conferito presso l'impianto è costituito dall'analisi a campione sui carichi in arrivo.

Gli automezzi di conferimento, dopo le verifiche ed i controlli descritti, raggiungono l'avanfossa, un locale coperto antistante le bocche di scarico. Tale locale rimane in lieve depressione per evitare la fuoriuscita di odori.

Tutti i rifiuti solidi non definibili come ingombranti sono convogliati, attraverso bocche di scarico, in una fossa chiusa, direttamente dagli autocollettori ribaltabili o dotati di mezzi propri di espulsione.

### 2.1.1 Sezione di stoccaggio

La fossa, di capacità utile pari a circa 18.000 m<sup>3</sup> (corrispondenti a 35.000 m<sup>3</sup> di rifiuto accovonato), è dotata di un doppio sistema di impermeabilizzazione, costituito da un rivestimento di piastre in acciaio Corten che ha elevata resistenza alla corrosione ed elevata resistenza meccanica, sul fondo della fossa ed uno strato di materiale poliolefinico – polipropilenico al di sotto della fondazione tali da isolare il suolo dall'eventuale presenza di percolato.

All'interno della fossa i rifiuti sono mescolati tramite due carrozzone, ciascuno dotato di benna a polipo. Le benne servono a trasferire il rifiuto dalla fossa alle tre tramogge di carico (una per ciascuna caldaia), che convogliano il rifiuto in zona di combustione. E' il rifiuto stesso ad isolare la camera di combustione dal vano fossa, in depressione rispetto all'esterno, evitando ritorni di fiamma.

Ciascun carrozzone con relativa benna è manovrato da un gruista, la cui cabina è posta su di un lato del vano della fossa, in posizione rialzata e con ampia vetrata, in modo da consentire la totale visibilità della fossa. La cabina è dotata anche di monitor a circuito chiuso per dare al gruista un ulteriore grado di sorveglianza su alcune specifiche operazioni.

Durante il funzionamento dell'impianto l'aria presente in fossa viene aspirata ed inviata in caldaia come aria primaria con un numero di ricambi orari nelle condizioni di marcia nominale da 3 a 4 a seconda del grado di riempimento della fossa. Qualora due o tre linee risultino ferme, l'aria viene convogliata ad un sistema di deodorizzazione di emergenza dove viene filtrata e deodorizzata.

L'impianto di ventilazione e filtrazione dell'aria estratta è costituito da un filtro a maniche, un filtro deodorizzatore, un ventilatore assiale e un camino di espulsione sulla copertura dell'edificio.

Per sorvegliare l'efficienza del media filtrante, sono stati previsti degli strumenti che consentono di misurare le sostanze organiche volatili (SOV) nel flusso espulso.

## 2.2 Quantità e caratteristiche del rifiuto relative al mercurio

### 2.2.1 In fase di progetto

In fase di progetto, l'ATI (CNIM – UNIECO – COOPSETTE) ha deciso di utilizzare la composizione elementare del rifiuto teorica in ingresso proposta nelle condizioni di MCR (*maximum continuous rating*) dal costruttore della caldaia (Martin), sulla quale si sono eseguiti i calcoli di combustione per dimensionare l'impianto.

Si riportano di seguito i valori.

Composizione del combustibile			MCR MARTIN	MCR TRM
Materiali inerti		% peso	20,99	20,99
Acqua		% peso	27,6	27,6
Materiali combustibili		% peso	51,41	51,41
Composizione della parte combustibile				
Carbonio	C	% peso	28,1	28,1
Idrogeno	H	% peso	3,9	3,9
Ossigeno	O	% peso	18	18
Azoto	N	% peso	0,7	0,7
Cloro	Cl	% peso	0,6	0,6
Zolfo	S	% peso	0,1	0,1
Fluoro	F	% peso	0,01	0,01
TOTALE		% peso	51,41	51,41

Tabella 2.2 - Composizione elementare del rifiuto

Analizzati i dati di progettazione relativi al sistema di trattamento dei fumi dedicato all'abbattimento del mercurio (carbone attivo) si è calcolato il quantitativo di mercurio ipotizzato in ingresso all'impianto di incenerimento al fine di dimensionare il sistema di trattamento a carboni attivi.

La progettazione del sistema di depurazione dei fumi si basa su tre condizioni di carico dell'impianto, come osservabile dall'Allegato 1, Allegato 2 e Allegato 3, del presente elaborato:

- Minimo - Portata fumi minima con inquinanti nominali medio giornalieri e con emissioni medie giornaliere;

- MCR - Portata fumi nominale con inquinanti nominali medio giornalieri e con emissioni medie giornaliere;
- Sovraccarico - Portata fumi massima con inquinanti massimi medio giornalieri e con emissioni medie giornaliere.

Per ognuna delle tre condizioni di carico è stato calcolato il valore massimo di mercurio in ingresso all'impianto.

Per eseguire il calcolo si sono considerati, i seguenti dati:

- Quantità di mercurio in uscita dalla caldaia espressa come flusso di massa in Kg/h;
- Capacità nominale dell'impianto, pari a 22,5 t/h di rifiuti.

Di seguito si riportano le quantità di mercurio in uscita dalla caldaia per i diversi carichi, desunte dai dati di progettazione del sistema di trattamento dei fumi.

	Minimo	MCR	Sovraccarico
<b>Hg<sub>uscita caldaia</sub></b> Kg/h	0,026	0,046	0,12

**Tabella 2.3 - Flusso di massa di mercurio in uscita dalla caldaia**

Infine eseguendo il rapporto tra la quantità di Hg in uscita dalla caldaia e il valore di capacità dell'impianto e moltiplicando per 100 si è ottenuta la percentuale di mercurio contenuta nella composizione elementare del rifiuto in ingresso nelle tre diverse condizioni di carico dell'impianto. Si riportano di seguito i calcoli.

$$\%Hg_{Minimale} = \frac{0,026 \text{ Kg/h}}{22500 \text{ Kg/h}} \cdot 100 = 1,16 \cdot 10^{-4}\%$$

$$\%Hg_{MCR} = \frac{0,046 \text{ Kg/h}}{22500 \text{ Kg/h}} \cdot 100 = 2,04 \cdot 10^{-4}\%$$

$$\%Hg_{Sovraccarico} = \frac{0,046 \text{ Kg/h}}{22500 \text{ Kg/h}} \cdot 100 = 5,33 \cdot 10^{-4}\%$$

Di seguito si riportano i valori appena calcolati espressi in ppm:

	Minimale	MCR	Sovraccarico
<b>Hg</b> ppm	1,16	2,04	5,33

**Tabella 2.4 - Quantità di mercurio presente nella composizione elementare del rifiuto in ingresso per i diversi stati di carico dell'impianto.**

I risultati dimostrano la decisione presa in fase di esercizio da parte di TRM a seguito della “Relazione di riscontro alle richieste di integrazioni formulate dalla Città metropolitana di Torino” riguardo le criticità generate dai quantitativi anomali di mercurio registrati in ingresso all’impianto. La scelta è stata di vincolare l’accettazione dei flussi con un contenuto massimo di mercurio pari a 1 mg/kg, corrispondente a 1 ppm.

Dai valori ottenuti risulta quindi che si è scelto di stabilire come massimale in ingresso il valore di mercurio stimato per lo stato di carico minimo, così da mantenere il più possibile sotto controllo il livello di emissione.

È da notare che i valori di mercurio in uscita dalla caldaia riportati nei dati di progetto sono stati ricavati partendo dal valore limite stabilito dalla normativa vigente ( $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) e considerando l’efficienza di rimozione del mercurio dell’impianto di trattamento di depurazione dei fumi.

In particolare si sono considerati tre diversi scenari in base ai tre carichi precedentemente citati (minimo, MCR e sovraccarico).

Si riportano di seguito i tre valori di efficienza utilizzati per la stima, probabilmente ricavati da esperienze con impianti similari.

	<b>Minimo</b>	<b>MCR</b>	<b>Sovraccarico</b>
$\eta$	85%	85%	95%

**Tabella 2.5 - Efficienza di rimozione del mercurio da adsorbimento su carbone attivo**

Tali valori di efficienza risultano leggermente inferiori rispetto a quanto indicato nel documento Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Waste Incineration, che indica un valore attorno all’95% .

Esprimendo sempre il mercurio come flusso di massa, si indicano di seguito i diversi valori di uscita del mercurio dal camino per i tre carichi ipotizzati in fase di progetto.

	<b>Minimale</b>	<b>MCR</b>	<b>Sovraccarico</b>
$\text{Hg}_{\text{camino}}$ Kg/h	0,004	0,007	0,007

**Tabella 2.6 - Flusso di massa di mercurio in uscita dal camino**

Per dimostrare la scelta di progettare partendo dal valore limite si è eseguita la risoluzione di un sistema, come segue.

Si vuole trovare il valore di mercurio in uscita dalla caldaia ( $x$ ) partendo dal valore in uscita dal camino che si considera noto partendo dal valore limite che è pari a  $0.05 \text{ mg/Nm}^3$ .

Con  $y$  uguale alla percentuale di efficienza di rimozione del quantitativo di mercurio in uscita dalla caldaia. Per esempio considerando il carico minimale si avrà che  $y$  è uguale all'85% di  $x$ .

Quindi, esplicitando i calcoli si avranno i seguenti sistemi:

- Carico minimale

$$\begin{cases} \frac{85}{100} \cdot x = y \\ x - y = 0,004 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{85}{100} \cdot x = x - 0,004 \\ y = x - 0,004 \end{cases}$$

Quindi  $x = \mathbf{0,026 \text{ Kg/h}}$

- Carico MCR

$$\begin{cases} \frac{85}{100} \cdot x = y \\ x - y = 0,007 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{85}{100} \cdot x = x - 0,007 \\ y = x - 0,007 \end{cases}$$

Quindi  $x = \mathbf{0,046 \text{ Kg/h}}$

- Sovraccarico

$$\begin{cases} \frac{95}{100} \cdot x = y \\ x - y = 0,007 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{95}{100} \cdot x = x - 0,007 \\ y = x - 0,007 \end{cases}$$

Quindi  $x = \mathbf{0,12 \text{ Kg/h}}$

In fine per passare dal flusso di massa (Kg/h) a  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  è necessario considerare la portata a secco all'uscita del camino riferita ad un valore di ossigeno pari all'11%, come è espresso nei dati di progetto. Una volta convertito il valore di portata a secco si divide il valore di mercurio espresso in flusso massa per la portata trasformata moltiplicando poi per  $10^6$ , così da ottenere il valore di mercurio espresso in  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ .

Si riportano ora i valori delle portate a secco per i diversi carichi.

	Minimale	MCR	Sovraccarico
$Q_{\text{secco camino}}$ $\text{Nm}^3/\text{h}$	61696	107259	119408
$\%O_2$ secco	8,91	8,51	8,47

Tabella 2.7 - Valori di portata a secco in uscita dal camino e relative percentuali di  $O_2$  in condizioni secche

Si riportano i valori delle portate a secco riferite all'11% di  $O_2$ .

	Minimale	MCR	Sovraccarico
$Q_{11\%}$	76167	138642	155075

Tabella 2.8 - Portata a secco in uscita dal camino riferita all'11% di  $O_2$

Infine si riportano i calcoli utili a ricavare il valore in  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  per i tre carichi.

- Carico minimale

$$\text{limite Hg} = \frac{0,004}{76167} \cdot 10^6 = \mathbf{0.05 \text{ mg}/\text{Nm}^3}$$

- Carico MCR

$$\text{limite Hg} = \frac{0,007}{138642} \cdot 10^6 = \mathbf{0.05 \text{ mg}/\text{Nm}^3}$$

- Sovraccarico

$$\text{limite Hg} = \frac{0,007}{155075} \cdot 10^6 = \mathbf{0.05 \text{ mg}/\text{Nm}^3}$$

### 2.2.2 In fase di esercizio

Per stimare il quantitativo effettivo di mercurio presente nei rifiuti in ingresso all'inceneritore si sono consultate le analisi di caratterizzazione dei rifiuti urbani e speciali prescritte dalla Città Metropolitana di Torino a partire dal 2013, anno di messa in esercizio dell'impianto, fino al 2017.

Esaminando i documenti di caratterizzazione si sono presentati alcuni limiti tecnici nel poter definire un quantitativo preciso e rappresentativo. Il limite sostanziale si è riscontrato proprio nei risultati che i diversi laboratori hanno registrato nelle loro analisi, in quanto a seconda del metodo di analisi e/o delle caratteristiche fisiche dei rifiuti oggetto del campionamento avevano valori di rilevamento molto diversi tra loro. Inoltre in molti casi il limite di rilevabilità stesso era eccessivamente alto, al punto da non registrare alcuna presenza di Hg al di sopra di 10 ppm. Ciò non ha permesso una definizione accurata dell'effettivo quantitativo di mercurio presente.

Nel capitolo precedente, in Tabella 2.2, si è riportata la quantità di mercurio presente nella composizione elementare del rifiuto in ingresso per i diversi stati di carico dell'impianto, stimata in fase di progetto. Si era concluso che il quantitativo ammesso era pari ad 1 ppm per rimanere in sicurezza nei confronti delle possibili emissioni da camino.

Tale valore è difficilmente apprezzabile e verificabile dalle analisi di caratterizzazione in quanto nella maggior parte dei casi il limite di rilevabilità è pari a 10 ppm, superiore al valore stimato di sovraccarico in fase progettuale pari a 5 ppm.

In particolare dalle analisi di caratterizzazione dei rifiuti urbani, non si è potuto apprezzare nessun risultato a causa del limite di rilevabilità. Si è in grado di affermare che su 10 analisi, 2 presentano un quantitativo di mercurio minore di 1 mg/kg e quindi in linea con il progetto. Dei restanti 8, 5 sono stati eseguiti con limiti di misurazione  $\geq 10$  mg/kg senza esito positivo, le restanti non hanno eseguito analisi sulla presenza di mercurio.

Le analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali presentano invece una numerosa varietà di limiti di rilevabilità. Da un minimo di 0,01 ad un massimo di 20 mg/kg. In totale sono state eseguite 118 analisi dal 2013 delle quali 12 hanno avuto esito utile all'indagine, come osservabile di seguito nella Tabella 2.9.

<b>Caratterizzazione Rifiuti Speciali</b>		
<b>Data campionamento</b>	<b>Hg mg/kg</b>	<b>Metodo di analisi</b>
24/09/2013	0,45	UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 17294-2:2005
20/02/2015	2,39	EPA 3050B:1996+EPA 6010C:2007
03/03/2015	7,33	ICP-OES Met.Uff. UNI EN 13656:2004+UNI EN ISO 11885:2009
04/03/2015	0,8	EPA 3050B:1996+EPA 6010C:2007
23/10/2015 *	0,32	UNI EN 13657:2004 + EPA 6020A:2007
23/10/2015 *	0,36	UNI EN 13657:2004 + EPA 6020A:2007
11/11/2015	0,08	UNI EN 13657:2004 + EPA 6010C:2007
17/12/2015 *	0,1	EPA 3050B:1996+EPA 6010C:2007
17/12/2015 *	0,1	EPA 3050B:1996 + EPA 6010C:2007
14/11/2016	1,2	UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009
30/12/2016	0,35	UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009
30/12/2016	0,5	UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009
16/01/2017	0,56	EPA 3050B:1996 + EPA 6010C:2007

**Tabella 2.9 - Risultati delle analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali aventi esito**

In Tabella 2.9 si sono riportati i valori di Mercurio relativi alle date di avvenuto campionamento. Solo per alcuni casi, in mancanza di tale data si è dovuto ricorrere alla data di ricevimento in laboratorio del campione, tali date in tabella sono state contrassegnate dal simbolo asterisco (\*). Inoltre è indicato il metodo di analisi utilizzato.

In particolare il valore più alto registrato durante l'analisi del 03/03/2015 è pari a 7,33 mg/kg di mercurio, valore che è superiore al limite di sovraccarico stimato in fase di progetto. Altri valori di cui prendere nota sono stati campionati in data 20/02/2015 pari a 2,39 mg/kg e in data 14/11/2016 pari 1,2 mg/kg; tali valori risultano superiori al limite di carico minimo espresso in fase di progettuale. Gli altri esiti, invece, presentano un quantitativo analizzato  $< 1$  mg/kg, quindi in linea con i dati di progetto.

Alcuni laboratori che hanno eseguito analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali, hanno scelto di valutare la presenza congiunta di mercurio e cadmio.

Si riportano nella pagina seguente, in Tabella 2.10, i suddetti valori congiunti.

<b>Caratterizzazione Rifiuti Speciali</b>		
<b>Data campionamento</b>	<b>Hg+Cd mg/kg</b>	<b>Metodo di analisi</b>
13/02/2015	0,074	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
13/02/2015	0,43	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
20/02/2015	0,2	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
20/02/2015	0,35	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
27/02/2015	0,2	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
27/02/2015	0,41	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
06/03/2015	0,21	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
06/03/2015	0,26	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
13/03/2015	0,19	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005
13/03/2015	0,46	UNI EN 15411:2011 Met.A + UNI EN ISO 17294-2:2005

**Tabella 2.10 – Risultati congiunti di Hg+Cd delle analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali aventi esito**

Come visibile nella Tabella 2.10 di cui sopra le analisi hanno avuto un esito utile all'indagine.

A causa dell'analisi congiunta di mercurio e cadmio non è possibile dare una valutazione oggettiva del solo quantitativo di mercurio presente in tali campioni di rifiuto. Nonostante ciò è plausibile concludere che il quantitativo presente è sempre al di sotto del limite di carico minimo, che come ribadito in precedenza è pari a 1 mg/kg.

I restanti risultati delle analisi non hanno avuto esito rappresentativo, in quanto sempre al di sotto del limite di misurazione, come visibile dall'Allegato 4.

Inoltre dall'Allegato 4 è osservabile che la maggior parte dei risultati ottenuti, per la precisione 77 su 110, hanno registrato un valore al di sotto del limite di carico minimo.

Ad inizio capitolo si era citato il problema della rappresentatività del campionamento. A titolo esplicativo si espone di seguito la procedura di campionamento di AMIAT per i rifiuti urbani presenti nell'avanfossa dell'inceneritore:

Si procede a prelevare dalla fossa, dopo opportuno rimescolamento una quantità di rifiuto pari a circa 5 tonnellate, il quale viene poi caricato su automezzo e scaricato nell'area di analisi.

L'automezzo è dotato di gru oleodinamica e polipo, grazie alla quale si è provveduto al rimescolamento del materiale e al prelievo del materiale da 3 punti del cumulo, creando così il campione da analizzare.

Al termine dell'analisi merceologica, tutte le frazioni separate durante l'analisi vengono triturate ad una pezzatura al di sotto dei 20 mm.

Un'aliquota di circa 5 kg, viene quindi prelevata e portata in laboratorio dalla quale si estrarrà un campione pari a 0,5 kg per sottoporlo ad analisi per la verifica di alcuni parametri utili al processo di termodistruzione.

### **2.2.3 Il problema dei RAEE, delle pile e dei rifiuti di amalgama prodotti da interventi odontoiatrici in Regione Piemonte**

In questo capitolo ci si è proposti di indagare sui rifiuti che potenzialmente possono essere contaminati da mercurio e quindi essere causa di sovraccarico della capacità del sistema di abbattimento.

Nel capitolo "Trattamento primario" si erano indicate le tecniche primarie proposte dal documento Brefs (BAT reference documents) al fine di prevenire o controllare la presenza di mercurio nel rifiuto. La prima tecnica indicava di effettuare una gestione efficiente della raccolta differenziata dei rifiuti che possono contenere metalli pesanti ad es. celle, batterie, amalgame dentali ecc.

Oltre alle indicazioni presenti sui documenti Brefs si è seguita anche la normativa italiana, tra cui:

- Il D. Lgs. 14 marzo 2014, n. 49, *Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)*;
- Il D.Lgs. 20 novembre 2008, n. 188, *Attuazione della direttiva 2006/66/CE relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori*.

### 2.2.3.1 RAEE

La sigla RAEE nell'art. 4 lettera *e* del D.Lgs 49/2014, definisce i 'rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche' i quali sono rifiuti ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera *a*, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n.152, inclusi tutti i componenti, sottoinsiemi e materiali di consumo che sono parte integrante del prodotto al momento in cui il detentore si disfi, abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsene.

I RAEE vengono distinti tra 'RAEE provenienti dai nuclei domestici' e 'RAEE professionali'. Il decreto sopra citato li definisce come segue:

- Dall'art. 4 lettera *l* 'RAEE provenienti dai nuclei domestici': "i RAEE originati dai nuclei domestici e i RAEE di origine commerciale, industriale, istituzionale e di altro tipo, analoghi, per natura e quantità, a quelli originati dai nuclei domestici. I rifiuti delle AEE (apparecchiature elettriche ed elettroniche) che potrebbero essere usate sia dai nuclei domestici che da utilizzatori diversi dai nuclei domestici sono in ogni caso considerati RAEE provenienti dai nuclei domestici";
- Dall'art. 4 lettera *m* 'RAEE professionali': "i RAEE diversi da quelli provenienti dai nuclei domestici di cui alla lettera *l*".

I RAEE sono suddivisi in 5 raggruppamenti, al fine di ottimizzare la logistica e il trattamento. I raggruppamenti di RAEE sono quelli definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 (art. 4 comma 1, lettera *oo* del D.Lgs. 49/2014), precisamente:

- R1 - Grandi elettrodomestici: frigoriferi, condizionatori, congelatori, ecc.;
- R2 - Altri grandi elettrodomestici: lavatrici, forni, cappe, ecc.;
- R3 - TV e monitor;

- R4 - Elettronica di consumo: aspirapolvere, PC, telefoni, hi-fi, ecc.;
- R5 - Sorgenti luminose.

Lo stesso decreto utilizza la sigla AEE nell'art. 4 lettera a) per definire le 'apparecchiature elettriche ed elettroniche', le quali dipendono, per un corretto funzionamento, da correnti elettriche o da campi elettromagnetici e le apparecchiature di generazione, trasferimento e misurazione di queste correnti e campi e progettate per essere usate con una tensione non superiore a 1000 volt per la corrente alternata e a 1500 volt per la corrente continua.

Il decreto indica all'art. 6 i *Criteri di priorità nella gestione dei RAEE* come segue.

1. "La gestione dei RAEE deve privilegiare le operazioni di riutilizzo e preparazione per il riutilizzo dei RAEE, dei loro componenti, sottoinsiemi e materiali di consumo in attuazione dei principi di precauzione e prevenzione, e al fine di consentire un efficiente utilizzo delle risorse.
2. Ove non sia possibile rispettare i criteri di priorità di cui al comma 1, i RAEE raccolti separatamente sono avviati al recupero secondo le modalità di cui all'articolo 18.

Sempre nel D. Lgs 49/2014 sono indicate all'art. 12 le misure e le azioni da intraprendere nella gestione della *Raccolta differenziata dei RAEE domestici* come segue."

1. Al fine di ridurre al minimo lo smaltimento dei RAEE provenienti dai nuclei domestici come rifiuti urbani misti, mediante il raggiungimento di un elevato livello di raccolta differenziata idoneo a realizzare gli obiettivi indicati nell'articolo 14, e di sottoporre i RAEE raccolti al trattamento adeguato di cui all'articolo 18, devono essere attivate le seguenti misure ed azioni:
  - a) "i Comuni assicurano la funzionalità e l'adeguatezza, in ragione della densità della popolazione, dei sistemi di raccolta differenziata dei RAEE provenienti dai nuclei domestici e l'accessibilità ai relativi centri di raccolta, al fine di permettere ai detentori finali, ai distributori, agli installatori ed ai gestori dei centri di assistenza tecnica dei RAEE di conferire gratuitamente i RAEE prodotti nel loro territorio o detenuti presso luoghi di raggruppamento organizzati dai distributori nel loro territorio. Il

conferimento di rifiuti prodotti in altri Comuni è consentito solo previa sottoscrizione di apposita convenzione con il Comune di destinazione. Detta convenzione è obbligatoria per i Comuni che non abbiano allestito un centro di raccolta idoneo a ricevere i RAEE.

- b) fatto salvo quanto stabilito alla lettera a) e ai commi 1 e 3 dell'articolo 11, i produttori, individualmente o attraverso i sistemi collettivi cui aderiscono, possono organizzare e gestire sistemi di raccolta o di restituzione dei RAEE provenienti dai nuclei domestici per realizzare gli obiettivi definiti dal presente decreto legislativo.
2. La realizzazione e la gestione di centri di raccolta di cui alle lettere a) e b) si svolge con le modalità previste dalle disposizioni adottate in attuazione dell'articolo 183, comma 1, lettera mm), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, ovvero, in alternativa, con le modalità previste agli articoli 208, 213 e 216 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.
  3. La raccolta differenziata deve riguardare in via prioritaria le apparecchiature per lo scambio di temperatura contenenti sostanze che riducono lo strato di ozono e gas fluorurati ad effetto serra, lampade fluorescenti contenenti mercurio, pannelli fotovoltaici e apparecchiature di piccole dimensioni di cui alle categorie 5 e 6 dell'allegato III.
  4. Tenuto conto delle vigenti disposizioni in materia di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori, il ritiro gratuito di una apparecchiatura elettrica ed elettronica ai sensi dei commi 1 e 3 dell'articolo 11 del presente decreto legislativo può essere rifiutato nel caso in cui vi sia un rischio di contaminazione del personale incaricato dello stesso ritiro o nel caso in cui risulti evidente che l'apparecchiatura in questione non contiene i suoi componenti essenziali o contiene rifiuti diversi dai RAEE. Al fine di garantire il corretto smaltimento di tali RAEE, essi dovranno essere consegnati dal detentore finale ai centri di raccolta, che provvedono alla gestione degli stessi sulla base delle modalità concordate ai sensi dell'articolo 15, comma 3, lettera c).”

Inoltre il decreto, all'art. 14, riporta gli obiettivi per la raccolta differenziata dei RAEE domestici. Si riporta di seguito tale articolo.

1. “Ogni anno devono essere raggiunti i seguenti obiettivi di raccolta differenziata:
  - a) fino al 31 dicembre 2015 deve essere conseguito un tasso medio di raccolta differenziata dei RAEE provenienti dai nuclei domestici pari ad almeno 4 chilogrammi l'anno per abitante;
  - b) dal 1° gennaio 2016 deve essere conseguito un tasso minimo di raccolta pari almeno al 45 per cento, calcolato sulla base del peso totale dei RAEE raccolti conformemente alle previsioni del presente decreto in un dato anno ed espresso come percentuale del peso medio delle AEE immesse sul mercato nei tre anni precedenti. Nel periodo dal 1° gennaio 2016 al 31 dicembre 2018 il quantitativo dei RAEE raccolti deve aumentare gradualmente fino al conseguimento del tasso finale di raccolta di cui alla lettera c);
  - c) al 1° gennaio 2019 deve essere conseguito un tasso minimo di raccolta pari al 65 per cento del peso medio delle AEE immesse sul mercato nei tre anni precedenti o in alternativa, deve, essere conseguito un tasso minimo di raccolta pari all'85 per cento del peso dei RAEE prodotti nel territorio nazionale.
2. In attesa che la Commissione definisca una metodologia comune per calcolare il volume misurato in base al peso di RAEE prodotti, il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, sentita l'ISPRA, e di concerto col Ministro dello sviluppo economico, può definire una metodologia di calcolo del peso totale dei RAEE prodotti da applicarsi sull'intero territorio nazionale, tenendo in debita considerazione i differenti cicli di vita e di riutilizzazione delle AEE e nel rispetto delle migliori tecniche disponibili.
3. Il monitoraggio sul raggiungimento del tasso di raccolta di cui al presente articolo è affidato all'ISPRA.

Le fonti dati utilizzate al fine di riportare lo stato di fatto della raccolta raggiunto nel territorio della Città metropolitana di Torino e della Regione Piemonte per ciò che concerne la raccolta ed il recupero dei RAEE, derivano da:

- Centro di Coordinamento RAEE (CdC RAEE) - organismo centrale che si occupa di ottimizzare la raccolta, il ritiro e la gestione dei Rifiuti da Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche in Italia anche attraverso la gestione di un elenco a cui devono iscriversi tutti gli impianti di trattamento di RAEE;
- Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte.“

L'inceneritore, inizialmente, riceveva i rifiuti derivanti dalla raccolta indifferenziata del territorio della Città metropolitana di Torino. Il *Piano regionale di gestione dei rifiuti urbani e dei fanghi di depurazione* adottato dalla Regione Piemonte con Deliberazione del Consiglio regionale 19 aprile 2016, n. 140 – 14161 ha stabilito che l'inceneritore riceverà progressivamente i rifiuti urbani dell'intera Regione Piemonte.

Per queste ragioni ci si è focalizzati sui dati di raccolta e recupero dei RAEE domestici e professionali specifici per il territorio di Torino e del Piemonte.

Si riportano quindi, in Tabella 2.11 i dati annuali di raccolta dei RAEE domestici nella città metropolitana di Torino, espressi dal CdC.

<b>RAEE DOMESTICI RACCOLTI (t/a)</b>				
<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
6.458	6.627	7.715	8.895	-

**Tabella 2.11 - Quantitativi di RAEE domestici raccolti annualmente a Torino, espressi dal CdC**

Dai dati espressi in Tabella 2.11 è osservabile un progressivo miglioramento nel quantitativo di RAEE raccolti anno dopo anno.

Si riportano di seguito i dati di dettaglio annuali della raccolta dei RAEE domestici nella città metropolitana di Torino, espressi dal CdC.

<b>RAEE DOMESTICI 2013</b>					
<b>RACCOLTI</b> t/a	<b>R1</b> t/a	<b>R2</b> t/a	<b>R3</b> t/a	<b>R4</b> t/a	<b>R5</b> t/a
6.458	2.211	1.245	2.182	794	27

**Tabella 2.12 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2013**

<b>RAEE DOMESTICI 2014</b>					
<b>RACCOLTI</b> t/a	<b>R1</b> t/a	<b>R2</b> t/a	<b>R3</b> t/a	<b>R4</b> t/a	<b>R5</b> t/a
6.627	2.396	1.326	2.044	823	37

**Tabella 2.13 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2014**

<b>RAEE DOMESTICI 2015</b>					
<b>RACCOLTI</b> t/a	<b>R1</b> t/a	<b>R2</b> t/a	<b>R3</b> t/a	<b>R4</b> t/a	<b>R5</b> t/a
7.715	2.546	2.352	1.876	901	40

**Tabella 2.14 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2015**

<b>RAEE DOMESTICI 2016</b>					
<b>RACCOLTI</b> t/a	<b>R1</b> t/a	<b>R2</b> t/a	<b>R3</b> t/a	<b>R4</b> t/a	<b>R5</b> t/a
8.895	2.717	3.414	1.661	1.054	49

**Tabella 2.15 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2016**

Si riportano ora i dati di raccolta, recupero e raccolta procapite espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti al territorio della Città metropolitana di Torino.

<b>RAEE DOMESTICI</b>		
2013		
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab
6.996	4.197	3,0

**Tabella 2.16 - Dati di raccolta e recupero del 2013 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino**

<b>RAEE DOMESTICI</b>		
2014		
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab
7.385	4.431	3,2

**Tabella 2.17 - Dati di raccolta e recupero del 2014 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino**

<b>RAEE DOMESTICI</b>		
2015*		
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab
20.734	-	9,1

**Tabella 2.18 - Dati di raccolta e recupero del 2015 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino**

(\*) la Regione Piemonte, nel 2015, fornisce i dati di raccolti dei RAEE congiunti ai rifiuti ingombranti.

<b>RAEE DOMESTICI</b>		
2016		
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab
8.532	5.119	3,7

**Tabella 2.19 - Dati di raccolta e recupero del 2016 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino**

Si riportano ora, in Tabella 2.20 a pagina seguente, i dati annuali di raccolta dei RAEE domestici nella Regione Piemonte, espressi dal CdC.

<b>RAEE DOMESTICI RACCOLTI (t/a)</b>				
2013	2014	2015	2016	2017
17.748	18.345	20.072	21.673	-

**Tabella 2.20 - Quantitativi di RAEE domestici raccolti annualmente in Regione Piemonte, espressi dal CdC**

È immediato notare un incremento di circa 1.000 t/a di RAEE raccolti in Piemonte. Si riportano di seguito i dati di dettaglio annuali della raccolta dei RAEE domestici in Regione Piemonte, espressi dal CdC.

<b>RAEE DOMESTICI 2013</b>							<b>TARGET UE ≥ kg/ab anno +1,75%</b>
<b>RACCOLTI t/a</b>	<b>PROCAPITE kg/ab anno</b>	<b>R1 t/a</b>	<b>R2 t/a</b>	<b>R3 t/a</b>	<b>R4 t/a</b>	<b>R5 t/a</b>	
17.748	4,07	4.956	3.847	6.017	2.844	84	

**Tabella 2.21 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2013, e rispettivo conseguimento del target UE**

<b>RAEE DOMESTICI 2014</b>							<b>TARGET UE ≥ kg/ab anno +3,25%</b>
<b>RACCOLTI t/a</b>	<b>PROCAPITE kg/ab anno</b>	<b>R1 t/a</b>	<b>R2 t/a</b>	<b>R3 t/a</b>	<b>R4 t/a</b>	<b>R5 t/a</b>	
18.345	4,13	5.293	4.197	5.744	3.008	103	

**Tabella 2.22 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2014, e rispettivo conseguimento del target UE**

<b>RAEE DOMESTICI 2015</b>							<b>TARGET UE ≥ kg/ab anno +13,5%</b>
<b>RACCOLTI t/a</b>	<b>PROCAPITE kg/ab anno</b>	<b>R1 t/a</b>	<b>R2 t/a</b>	<b>R3 t/a</b>	<b>R4 t/a</b>	<b>R5 t/a</b>	
20.072	4,54	5.612	5.642	5.376	3.334	109	

**Tabella 2.23 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2015, e rispettivo conseguimento del target UE**

<b>RAEE DOMESTICI 2016</b>							<b>TARGET UE (*)</b>
<b>RACCOLTI t/a</b>	<b>PROCAPITE kg/ab anno</b>	<b>R1 t/a</b>	<b>R2 t/a</b>	<b>R3 t/a</b>	<b>R4 t/a</b>	<b>R5 t/a</b>	
21.673	4,92	5.696	7.184	4.858	3.809	126	

**Tabella 2.24 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2016, e rispettivo conseguimento del target UE**

Il target Europeo espresso dal D.Lgs. 49/2014 all'art 14. è correttamente rispettato per il periodo che va dal 2014 fino al 31 dicembre 2015, dove l'obiettivo era il conseguimento di un tasso medio di raccolta differenziata dei RAEE proveniente dai nuclei domestici pari ad almeno 4 kg/ab·anno. Dal 1° gennaio 2016 è necessario conseguire un tasso minimo di raccolta pari almeno al 45%, calcolato sulla base del peso totale dei RAEE raccolti conformemente alle previsioni del D.Lgs. 49/2014 in un dato anno ed espresso come percentuale del peso medio delle AEE immesse sul mercato nei tre anni precedenti. Inoltre nel periodo dal 1° gennaio 2016 al 31 dicembre 2018 il quantitativo dei RAEE raccolti deve aumentare gradualmente fino al conseguimento del tasso finale di raccolta che è pari all'85% del peso dei RAEE prodotti nel territorio nazionale.

(\*)a causa del fatto che l'obiettivo europeo dal 1° gennaio 2016 è a livello nazionale perché riferito al peso medio delle AEE immesse sul mercato nei tre anni precedenti, non risulta possibile esprimere il livello di conseguimento del target europeo solo nel territorio della Regione Piemonte.

Nonostante ciò si è in grado di affermare che *“La Regione Piemonte rappresenta un modello virtuoso nella gestione dei RAEE, grazie alla presenza di una ottima rete di impianti sul territorio. Per sfruttare al meglio queste strutture e incentivare l'industria dei RAEE, in futuro la Regione dovrà impegnarsi a rendere più omogenea la raccolta sul territorio regionale, investendo nell'apertura di nuovi Centri di Raccolta - commenta Fabrizio Longoni, Direttore Generale del Centro di Coordinamento RAEE in occasione della seconda tappa del road show nazionale dedicato alla Gestione dei RAEE in Italia, organizzata dal Centro di Coordinamento RAEE in collaborazione con la Direzione Ambiente della Regione Piemonte e svolta a Torino. - La promozione di un road show nazionale attraverso le regioni italiane che si distinguono per la presenza sul territorio di una adeguata rete di impianti per il trattamento e il recupero finalizzato al riciclo dei materiali derivanti dai RAEE ha lo scopo di far emergere le best practice italiane e mostrare che l'industria dei RAEE genera un'economia fiorente, capace di creare un indotto importante e possibilità occupazionali sul territorio. Alla base di questa industria c'è una raccolta virtuosa, su cui la Regione Piemonte dovrà continuare a investire per garantire una maggiore capillarità della rete infrastrutturale e una corretta comunicazione a cittadini e consumatori”*

Si riportano ora i dati di raccolta, recupero e raccolta pro-capite espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti il territorio della regione stessa.

<b>RAEE DOMESTICI</b>			
2013			
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab	<b>Target UE</b> ≥4 kg/ab·anno
17.721	10.633	4,0	0%

**Tabella 2.25 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2013**

<b>RAEE DOMESTICI</b>			
2014			
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab	<b>Target UE</b> ≥4 kg/ab·anno
18.078	10.847	4,1	+2,5%

**Tabella 2.26 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2014**

<b>RAEE DOMESTICI + INGOMBRANTI</b>			
2015(*)			
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab	<b>Target UE</b> ≥4 kg/ab·anno
39.480	-	9,0	-

**Tabella 2.27 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2015**

(\*) la Regione Piemonte, nel 2015, fornisce i dati di raccolti dei RAEE congiunti ai rifiuti ingombranti.

<b>RAEE DOMESTICI</b>			
2016			
<b>Raccolti</b> t/a	<b>Recuperati</b> t/a	<b>Procapite</b> kg/ab	<b>Target UE</b> ≥4 kg/ab·anno
20.273	12.164	4,6	+15%

**Tabella 2.28 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2016**

Anche dall'osservazione di quest'ultime tabelle si evince che l'andamento è positivo ed ogni anno si ha un incremento nel quantitativo raccolto, oltre a migliorare il livello di raccolta procapite che fin dal 2013 è sempre stato in linea con i target europei.

Facendo un rapido confronto delle tabelle sopra riportate, tra i dati pubblicati dal CdC e i dati pubblicati dalla Regione Piemonte è possibile osservare che i quantitativi registrati da quest'ultimo sono sempre inferiori. Ciò è imputabile essenzialmente a due fattori:

1. Il Centro di Coordinamento dei RAEE, oltre ha contabilizzare i rifiuti provenienti dai punti di raccolta pubblici, dispone anche di altri punti di raccolta propri iscritti al servizio;
2. La piattaforma di registrazione dei dati di produzione su cui si basano i due enti è diversa:
  - a. CdC – utilizza i dati provenienti dai documenti MUD (modello unico di dichiarazione ambientale), i quali hanno valenza nazionale e sono riconosciuti a livello di legge;
  - b. Regione Piemonte – utilizza i dati provenienti dai documenti RUPAR (Rete Unitaria della Pubblica Amministrazione della Regione), i quali hanno valenza regionale e non sono riconosciuti a livello di legge.

Infine nella Tabella 2.29 e nella Tabella 2.30, nelle pagine seguenti, si riportano le descrizioni dei codici CER e i relativi dati di produzione disponibili dei RAEE professionali, pubblicati dalla Regione Piemonte, considerati rifiuti speciali.

Stando al D.Lgs. 152/06, articolo 184, c. 3 appartengono alla categoria dei rifiuti speciali tutti i rifiuti elencati di seguito:

- a. I rifiuti da attività agricole e agro-industriali, ai sensi e per gli effetti dell'art. 2135 c.c.;
- b. I rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 184-bis;
- c. I rifiuti da lavorazioni industriali;
- d. I rifiuti da lavorazioni artigianali;
- e. I rifiuti da attività commerciali;
- f. I rifiuti da attività di servizio;
- g. I rifiuti derivanti dalla attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi;
- h. I rifiuti derivanti da attività sanitarie.

<b>Codice CER</b>	<b>Descrizione</b>
160211*	apparecchiature fuori uso, contenenti clorofluorocarburi, HCFC,HFC
160213*	apparecchiature fuori uso, contenenti componenti pericolosi diversi da quelli di cui alle voci da 160209 a 160212
160214	apparecchiature fuori uso, diverse da quelli di cui alle voci da 160209 a 160213
160215*	componenti pericolosi rimossi da apparecchiature fuori uso
160216	componenti rimossi da apparecchiature fuori uso, diversi da quelli di cui alla voce 160215

**Tabella 2.29 - Elenco dei codici CER dei RAEE considerati dal piano rifiuti speciali della Regione Piemonte e relative descrizioni**

<b>RAEE PROFESSIONALI</b>				
<b>2013</b>				
	<b>Prodotti t/a</b>	<b>Recuperati t/a</b>	<b>Smaltiti t/a</b>	<b>Trattati t/a</b>
<b>CER 160211*</b>	552	76	1	77
<b>CER 160213*</b>	3.681	1.290	133	1.423
<b>CER 160214</b>	12.006	6.438	45	6.482
<b>CER 160215*</b>	536	0	10	10
<b>CER 160216</b>	5.242	687	18	705
<b>TOTALE</b>	22.017	8.491	206	8.698

**Tabella 2.30 - Dati di raccolta e trattamento dei RAEE professionali del 2013 emessi dalla Regione Piemonte**

In mancanza di dati successivi al 2013 non si è in grado di osservare un oggettivo andamento nel corso degli anni.

### 2.2.3.2 Pile e accumulatori

Il termine “pila” o “accumulatore” è definito nell’art. 2 lettera a del D. Lgs. 20 novembre 2008, n. 188 come una fonte di energia elettrica ottenuta mediante trasformazione diretta di energia chimica, costituita da uno o più elementi primari (non ricaricabili) o costituita da uno o più elementi secondari (ricaricabili). Inoltre, il decreto, fornisce anche le seguenti definizioni rispettivamente alle lettere *b, c, d, e, f* e *g* dell’ art. 2:

- "pacco batterie": un gruppo di pile o accumulatori collegati tra loro o racchiusi come un'unità singola e a sé stante in un involucro esterno non destinato ad essere lacerato o aperto dall'utilizzatore;
- "pile o accumulatori portatili": le pile, le pile a bottone, i pacchi batteria o gli accumulatori che sono sigillati, sono trasportabili a mano e non costituiscono pile o accumulatori industriali, né batterie o accumulatori per veicoli;
- "pile a bottone": piccole pile o accumulatori portatili di forma rotonda, di diametro superiore all'altezza, utilizzati a fini speciali in prodotti quali protesi acustiche, orologi e piccoli apparecchi portatili e come energia di riserva;
- "batterie o accumulatori per veicoli": le batterie o gli accumulatori utilizzati per l'avviamento, l'illuminazione e l'accensione;
- "pile o accumulatori industriali": le pile o gli accumulatori progettati esclusivamente a uso industriale o professionale, o utilizzati in qualsiasi tipo di veicoli elettrici;
- "rifiuti di pile o accumulatori": le pile e gli accumulatori che costituiscono rifiuti a norma dell'articolo 183, comma 1, lettera a), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

All'art. 4 del D.Lgs. 188/2008 il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare afferma l'impegno di raggiungere l'obiettivo di una migliore efficienza ambientale. Si riporta di seguito l'intero articolo:

1. "Al fine di promuovere la ricerca e di incoraggiare miglioramenti dell'efficienza, in termini ambientali, delle pile e degli accumulatori lungo l'intero ciclo di vita, nonché favorire lo sviluppo e la commercializzazione di pile e accumulatori contenenti minori quantità di sostanze pericolose ovvero contenenti sostanze meno inquinanti in sostituzione del mercurio, del cadmio e del piombo, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con il Ministero dello sviluppo economico, adotta misure, senza nuovi o maggiori oneri a carico della finanza pubblica, quali la stipula di accordi di programma, dirette a favorire ed incentivare, da parte dei produttori di pile ed accumulatori, l'impiego di modalità di progettazione e di fabbricazione che consentano una maggiore efficienza ambientale.
2. Per le finalità di cui al comma 1, il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con i Ministeri dello sviluppo economico e dell'economia e delle finanze, individua e promuove politiche di sostegno e di incentivazione, nei limiti degli ordinari stanziamenti di bilancio destinati allo scopo.

All'art 6. dello stesso decreto, sono riportate le indicazioni utili alla *Raccolta separata e ritiro pile e accumulatori portatili*:

1. Al fine di realizzare una gestione dei rifiuti di pile ed accumulatori che riduca al minimo il loro smaltimento insieme al rifiuto urbano indifferenziato e al fine di garantire, entro la data del 26 settembre 2012, il raggiungimento del tasso di raccolta separata di pile ed accumulatori portatili di cui all'articolo 8, per la raccolta separata di pile ed accumulatori portatili i produttori o i terzi che agiscono in loro nome organizzano e gestiscono, su base individuale o collettiva, sostenendone i relativi costi, sistemi di raccolta separata di pile ed accumulatori portatili idonei a coprire in modo omogeneo tutto il territorio nazionale. Tali sistemi:
  - a) consentono agli utilizzatori finali di disfarsi gratuitamente dei rifiuti di pile o accumulatori portatili in punti di raccolta loro

accessibili nelle vicinanze, tenuto conto della densità della popolazione;

- b) non devono comportare oneri per gli utilizzatori finali nel momento in cui si disfano dei rifiuti di pile o accumulatori portatili, né l'obbligo di acquistare nuove pile o nuovi accumulatori.
2. I punti di raccolta istituiti a norma della lettera a) del comma 1 non sono soggetti ai requisiti in materia di registrazione o di autorizzazione di cui alla vigente normativa sui rifiuti.
  3. Al fine di organizzare e gestire i sistemi di raccolta separata di cui al comma 1, i produttori o i terzi che agiscono in loro nome possono avvalersi delle strutture di raccolta ove istituite dal servizio pubblico, previa stipula di apposita convenzione definita sulla base di un accordo di programma quadro stipulato su base nazionale tra i produttori di pile e accumulatori portatili e l'Anci in rappresentanza dei soggetti responsabili del servizio pubblico di gestione dei rifiuti urbani, volto altresì a stabilire le modalità di ristoro degli oneri per la raccolta separata di pile e accumulatori portatili sostenuti dal servizio pubblico di gestione dei rifiuti urbani e le modalità di ritiro da parte dei produttori presso i centri di raccolta di cui alla lettera mm), comma 1, dell'articolo 183 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni, e le strutture autorizzate ai sensi degli articoli 208 e 210 dello stesso decreto n. 152 del 2006. I produttori o i terzi che agiscono in loro nome sono in ogni caso tenuti a provvedere al ritiro ed alla gestione dei rifiuti di pile o di accumulatori portatili raccolti in maniera differenziata nell'ambito del servizio pubblico di gestione dei rifiuti urbani.
  4. La raccolta separata di cui al comma 1 è organizzata prevedendo che i distributori che forniscono nuove pile e accumulatori portatili pongano a disposizione del pubblico dei contenitori per il conferimento dei rifiuti di pile e accumulatori nel proprio punto vendita. Tali contenitori costituiscono punti di raccolta e non sono soggetti ai requisiti in materia di registrazione o di autorizzazione di cui alla vigente normativa sui rifiuti”.

All'art. 8 del decreto sopra citato, sono indicati gli obiettivi di raccolta di pile e accumulatori. Si riporta di seguito tale articolo:

1. “Ai fini del presente decreto, la percentuale di raccolta delle pile e degli accumulatori portatili viene calcolata per la prima volta in relazione alla raccolta effettuata nel corso dell'anno 2011. Fatta salva l'applicazione del decreto legislativo 14 marzo 2014, n. 49, i dati annuali relativi alla raccolta e alle vendite comprendono pile e accumulatori incorporati in apparecchi.
2. Al fine di realizzare un sistema organico di gestione delle pile ed accumulatori portatili che riduca al minimo il loro smaltimento insieme al rifiuto urbano misto, entro la data del 26 settembre 2012 dovrà essere conseguito, anche su base regionale, un tasso di raccolta minimo di pile ed accumulatori portatili pari al 25 per cento del quantitativo immesso sul mercato; tale tasso di raccolta dovrà raggiungere, entro il 26 settembre 2016, il 45 per cento del quantitativo immesso sul mercato.
3. Le percentuali di raccolta di pile e accumulatori portatili sono calcolati annualmente dall'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale (Ispra), secondo il piano di cui all'allegato I, sulla base dei dati dell'immesso sul mercato trasmessi dai produttori ai sensi dell'articolo 15, comma 3 e dei dati trasmessi dal Centro di coordinamento di cui all'articolo 16”.

Le fonti dati utilizzate al fine di riportare lo stato di fatto nel territorio della Città metropolitana di Torino e della Regione Piemonte per ciò che concerne la raccolta ed il recupero di pile e accumulatori sono il Centro di Coordinamento Nazionale Pile e Accumulatori (CDCNPA) e Città Metropolitana di Torino.

Il Centro di Coordinamento Nazionale Pile e Accumulatori (CDCNPA) viene istituito con il D.lgs. 188/2008 e seguenti modifiche, recependo la Direttiva Europea 2006/66/CE.

Il CDCNPA ha il compito di:

- Ottimizzare le attività di competenza dei sistemi di raccolta, garantendo omogenee e uniformi condizioni operative al fine di incrementare le percentuali di raccolta e di riciclaggio dei rifiuti di pile e accumulatori;

- Definire le modalità di determinazione e di ripartizione dei finanziamenti delle operazioni di raccolta, trattamento e riciclo da sottoporsi all'approvazione del Comitato di Vigilanza e Controllo.

Per le stesse motivazioni già citate in precedenza per ciò che concerne i RAEE, anche per l'analisi della gestione della raccolta e recupero di pile e accumulatori ci si è focalizzati, dapprima sulla città metropolitana di Torino ed in fine sul Piemonte. Da notare però che il CDCNPA non fornisce dati a livello provinciale, quindi si riporteranno solo i dati a livello regionale e relativi solo alle pile ed accumulatori portatili mentre la Città Metropolitana di Torino è stata in grado di fornire ai fini della presente ricerca, esclusivamente i dati di raccolta di pile e accumulatori a livello provinciale. In particolare Città Metropolitana di Torino disponeva dei dati relativi ai consorzi della provincia di Torino, cioè:

- Consorzio Valorizzazione Rifiuti 14 (CO.VA.R. 14);
- Consorzio Pinerolese (ACEA);
- Consorzio Dora-Sangone (CADOS);
- Consorzio Intercomunale di Servizi per l'ambiente (C.I.S.A.);
- Consorzio Chierese (CCS);
- Consorzio di Bacino 16;
- Consorzio Canavesano (CCA);
- Consorzio Citta di Torino (Bacino 18);

Si riportano quindi, in Tabella 2.31 i dati annuali di raccolta di pile e accumulatori dei consorzi della provincia di Torino, espressi dalla Città Metropolitana di Torino.

<b>Pile e Accumulatori totali</b>				
Raccolta annuale kg				
<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
1.266.399	1.262.555	1.257.380	561.409	-

**Tabella 2.31 - Dati annuali di raccolta di pile e accumulatori dei consorzi della provincia di Torino, espressi dalla Città Metropolitana di Torino**

Si riportano infine, in Tabella 2.32 i dati annuali di raccolta di pile e accumulatori portatili nel Piemonte, espressi dal CDCNPA.

<b>Pile e Accumulatori portatili</b>				
Raccolta annuale kg				
<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
437.397	424.791	487.324	524.846	-

**Tabella 2.32 - Dati annuali di raccolta di pile e accumulatori portatili nel Piemonte, espressi dal CDCNPA**

Il CDCNPA fornisce i dati dei quantitativi di Pile e Batterie immessi sul mercato a livello nazionale. A livello regionale sono disponibili i dati del numero dei distributori e del numero dei punti di raccolta. Si riportano tali valori nella Tabella 2.33 di seguito.

<b>2014</b>		<b>2015</b>		<b>2016</b>	
Distributori	Centri di raccolta	Distributori	Centri di raccolta	Distributori	Centri di raccolta
197	176	295	199	283	206

**Tabella 2.33 - Numero dei distributori e dei centri di raccolta di Pile e Accumulatori della Regione Piemonte dal 2014 al 2016**

È importante sottolineare che i distributori svolgono anche la funzione di centri di raccolta, inoltre la presenza di luoghi di raccolta non è tuttavia uniforme in tutta Italia e vede una maggiore concentrazione nelle regioni del Nord ed in particolare le tre regioni che contano più luoghi di raccolta sono la Lombardia, il Veneto ed il Piemonte.

### **2.2.3.3 Amalgami dentali**

L'amalgama dentale o amalgama d'argento è un materiale composito a matrice metallica usato in odontoiatria conservativa per otturazioni e ricostruzioni dirette. Gli elementi presenti nella sua composizione sono mercurio (45-50% circa del contenuto totale), argento (~22-32%), stagno (~11-14%), rame (~6-9%), zinco (~2%). Nel linguaggio comune le otturazioni ottenute con questo materiale venivano frequentemente chiamate piombature, nonostante la totale assenza di piombo.

Rimasto per molto tempo il materiale più utilizzato in odontoiatria restaurativa, negli ultimi decenni il suo uso è andato gradualmente declinando principalmente per ragioni estetiche, per la disponibilità di materiali alternativi, per l'inquinamento ambientale, e per alcuni timori legati a possibili problemi per la salute del paziente.

Gli amalgami dentali fanno parte dei rifiuti sanitari i quali nel nostro Paese seguono, come disciplina di riferimento, il D.P.R. n. 254/03; tale regolamento definisce rifiuti sanitari i rifiuti che derivano da strutture pubbliche e private che svolgono attività medica e veterinaria di prevenzione, di diagnosi, di cura, di riabilitazione e di ricerca ed erogano le prestazioni di cui alla legge n. 833/1978, ovvero tutti i rifiuti prodotti da attività sanitarie, indipendentemente dalla natura degli stessi. Queste tipologie di rifiuti vengono prodotte, oltre che dalle strutture che esercitano professionalmente attività sanitaria, anche da altre strutture pubbliche e private che utilizzano locali nei quali si effettuano attività mediche ed infermieristiche, quali controlli sanitari, pronto soccorso, medicina del lavoro, dentisti, ecc.

Per 'rifiuti sanitari' si intendono quei rifiuti, indicati a titolo esemplificativo negli Allegati I e II del D.P.R. n. 254/03, derivanti dalle strutture di cui sopra. Essi vengono suddivisi nelle seguenti categorie:

- Rifiuti sanitari non pericolosi (di seguito denominati con la sigla "RSNP");
- Rifiuti sanitari assimilati ai rifiuti urbani (di seguito denominati con la sigla "RSAU");
- Rifiuti sanitari pericolosi non a rischio infettivo (di seguito denominati con la sigla "RSP-nonI"), in cui rientrano gli amalgami dentali;
- Rifiuti sanitari pericolosi a rischio infettivo (di seguito denominati con la sigla "RSP-I");
- Rifiuti sanitari che richiedono particolari sistemi di gestione (di seguito denominati con la sigla "RSparticolari").

La classificazione del rifiuto viene effettuata con il consueto criterio dell'attribuzione dei codici CER. Il CER identificativo per gli amalgami dentali è 180110\*, il quale è definito dal D.P.R. n° 254 del 15/7/2003 - Allegato II (articolo 2, comma 1, lettera *a*) Rifiuti sanitari pericolosi non a rischio infettivo, come segue.

CER 180110*	Rifiuti di amalgama prodotti da interventi odontoiatrici....
-------------	--

Un aspetto che emerge dai dati relativi al *Piano dei Rifiuti Speciali della Regione Piemonte*, riguarda la prevalenza di rifiuti con il codice CER 180103 (79,7%), ossia rifiuti che richiedono precauzioni in fase di raccolta e gestione, in quanto possono essere infettivi. Il 12,8% dei rifiuti prodotti è costituito da sostanze pericolose, tra le quali rientrano anche gli amalgami dentali, mentre le altre tipologie di rifiuti quali quelli delle attività radiodiagnostiche, i medicinali di scarto e le altre sostanze non pericolose, rappresentano circa il 7,5% del totale.

### 3 Problema emissione mercurio

L'inceneritore del Gerbido è dotato, in virtù delle prescrizioni autorizzative dell'allora Provincia di Torino, di un sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni (SME) a camino del mercurio emesso. Tale sistema, che prevede soglie di attenzione di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , è inserito in gran parte degli impianti di incenerimento in funzione in Europa, in accordo con quanto indicato dal documento Best available techniques Reference document (BREFs waste incineration) del 08/2006 e nel formal Draft di revisione di tale documento del 05/2017; quelli che non ne sono dotati, prevedono solo controlli discontinui e periodici a camino. Le concentrazioni rilevate con il sistema SME non hanno valore fiscale in quanto il metodo ufficiale previsto dal D.Lgs. 46/2014 per il controllo del mercurio è la UNI EN 13211:2003 che prevede il campionamento discontinuo.

Il, già citato, Decreto Legislativo del 4 marzo 2014, n.46, riporta all' art. 237- quattordicesimo comma 3, la seguente indicazione:

Negli impianti di incenerimento e in quelli di coincenerimento devono essere misurate e registrate in continuo nell'effluente gassoso le concentrazioni di CO, NO<sub>x</sub>, SO, polveri totali, Toc, HCl, HF e NH<sub>3</sub>. L'autorità competente può autorizzare che le misurazioni in continuo siano sostituite da misurazioni periodiche di HCl, HF ed SO, se il gestore dimostra che le emissioni di tali inquinanti non possono in nessun caso essere superiori ai valori limite di emissione stabiliti. La misurazione in continuo di acido fluoridrico (HF) può essere sostituita da misurazioni periodiche se l'impianto adotta sistemi di trattamento dell'acido cloridrico (HCl) nell'effluente gassoso che garantiscano il rispetto del valore limite di emissione relativo a tale sostanza.

Il limite, quindi, viene verificato in modo fiscale ogni 4 mesi dalla ditta in autocontrollo (per il primo anno di funzionamento ogni tre mesi) e dall' Agenzia Regionale per l'Ambiente (ARPA) almeno 1 volta all'anno.

Ai suoi albori, l'inceneritore, disponeva di uno strumento di misura del mercurio in continuo posto a camino che scandiva ciclicamente le concentrazioni di mercurio in uscita dalle tre linee di trattamento dei fumi.

Nel 2015 si procedette all'installazione di due strumenti di misura in continuo del mercurio a camino che affiancarono l'unico allora presente; a partire da luglio 2015, quindi, ciascuna linea ha avuto la propria misura dedicata.

A settembre del 2016 è stato quindi installato sulla linea 3 il primo analizzatore in continuo di mercurio a processo; le misure sono risultate attendibili da subito, ma per problemi intrinseci dello strumento la disponibilità dei dati risultava limitata nel tempo. Le modifiche apportate dal costruttore (che ha di fatto utilizzato l'impianto TRM come impianto di sviluppo) hanno consentito di estendere l'affidabilità dello strumento fino a valori accettabili solo nei primi mesi del 2017.

In fine, nel 2017, si è provveduto a dotare ciascuna linea di un proprio analizzatore in continuo a processo, posto nelle tre diverse caldaie. L'attivazione delle misurazioni in caldaia avvenne in modo non simultaneo per le tre linee, e precisamente:

- Linea 1 → SME in caldaia attivo dal 19/07/2017
- Linea 2 → SME in caldaia attivo dal 24/03/2017
- Linea 3 → SME in caldaia attivo dal 09/2016

La decisione, di installare dei misuratori nelle caldaie, fu presa per poter garantire un controllo sui contaminanti in ingresso all'impianto di trattamento fumi, così da poter prendere precauzioni nel caso di condizioni di sovraccarico e da poter comandare il sistema di alimentazione dei carboni in una logica feed-forward piuttosto che feed-back.

A partire dalla fine del 2014 si è conclamata una criticità legata ad un'anomala presenza di mercurio nelle emissioni che è stata oggetto, nel tempo, di numerosi interventi correttivi che hanno riguardato sia l'aspetto impiantistico che gestionale e che hanno impegnato la Società nella ricerca delle possibili fonti e dei rifiuti correlabili al mercurio.

Si propone di seguito una sintesi dell'evoluzione della problematica sino ad oggi e di quanto via via posto in essere per far fronte a tale criticità.

I primi interventi risalgono alla fine del 2014 allorché a seguito di approfondimenti per verificare e comprendere le cause di valori anomali di concentrazione di mercurio rilevati dallo SME, si evidenziò un'anomalia sul sistema di dosaggio del carbone attivo; oltre al ripristino del sistema, furono in quell'occasione implementati sensori e logiche aggiuntive in grado di verificare la corretta ed effettiva alimentazione del reagente.

Contestualmente venne inoltre avviata la progettazione e la realizzazione di un sistema di alimentazione del carbone attivo di riserva, da utilizzare in affiancamento o sostituzione al sistema principale.

Dietro richiesta della Città Metropolitana di Torino, in attesa della risoluzione della problematica, a partire dal mese di novembre del 2014 è stato implementato il blocco dell'alimentazione dei rifiuti in tramoggia al verificarsi di valori emissivi superiori a  $50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  per due semi-ore consecutive.

Come già detto in precedenza a partire da luglio 2015, ciascuna linea ha avuto la propria misura dedicata. Nel corso dell'anno vennero inoltre testate per periodi più o meno estesi diverse tipologie di carboni maggiormente affini al mercurio, che portarono all'adozione di un carbone additivato (modello *Filtercarb PHC 500 7S*, di cui si riporta la scheda tecnica nell'Allegato 5) in luogo del carbone "normale" sino ad allora in uso.

A metà 2016 si registrarono nuovamente delle criticità emissive che, per la prima volta, fornirono indizi utili a comprendere come l'effettiva dinamica del mercurio all'interno della linea fumi non fosse legata esclusivamente all'efficienza di abbattimento del carbone attivo ma dipendesse anche da altri fattori.

Da quel momento si è quindi proceduto per step successivi al fine di identificare i punti critici e porvi rimedio; si è partiti con la verifica del corretto funzionamento della strumentazione di misura del mercurio a camino implementando il sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni (SME) come già esposto in precedenza.

Beneficiando dei dati comunque raccolti a seguito dell'installazione del primo analizzatore di Hg di processo ed alle campagne di misura effettuate si è cominciata a delineare in maniera più chiara la problematica, in sintesi:

- è stata confermata la presenza di significative quantità di mercurio nei rifiuti in ingresso, periodicamente evidenziata dai rilevamenti sui fumi di processo;
- si è compreso che il dosaggio del carbone attivo in funzione delle concentrazioni di camino non era adeguato né tempestivo;
- si è identificato il ruolo del catalizzatore DeNOx<sup>1</sup> che può alterare le dinamiche emissive attraverso fenomeni di adsorbimento e di rilascio.;
- TRM afferma la presenza di una correlazione tra l'acidità dei fumi nel processo e il rilascio di mercurio dal catalizzatore DeNOx (concetto che

---

<sup>1</sup> sistema di depurazione dei fumi che utilizza il principio della riduzione selettiva catalitica, SCR-Selective Catalyst Reduction, è un processo chimico per l'abbattimento degli NOx dei gas di scarico

verrà descritto più nel dettaglio in seguito nel capitolo 6. *Emissioni anomale*).

Sulla base di queste evidenze il gestore dell'impianto si è mosso su diversi fronti con il duplice obiettivo di prevenire tali contaminazioni e di garantire la funzionalità dell'impianto anche in caso di importanti contaminazioni della linea fumi (ad es. attraverso la pronta disponibilità a magazzino di catalizzatori di riserva).

In particolare si è provveduto a dotare ciascuna linea di un analizzatore di processo, come spiegato in precedenza, modificando la logica di dosaggio del carbone attivo anche in considerazione della concentrazione registrata a monte del sistema di abbattimento ed integrando l'azione di dosaggio del sistema principale con quello di backup. Quest'ultimo sistema ha tuttavia manifestato alcuni limiti che hanno portato alla necessità di un'ulteriore modifica del sistema di depurazione a carboni attivi.

Contestualmente a queste attività si è tentato di individuare l'origine dei conferimenti anomali; in particolare:

- nell'autunno-inverno 2016 è stata condotta una estesa campagna di controlli sui rifiuti conferiti, che non ha individuato potenziali fonti salvo determinare una non ottimale intercettazione di RAEE nel circuito della raccolta;
- si è adottato in sede di omologa un limite al contenuto di mercurio nei rifiuti da verificare sulla base delle analisi richieste per l'accettazione dei rifiuti ( $Hg \leq 1 \text{ mg/kg}$ );
- si è tentato di tracciare i singoli carichi di tramoggia per correlarli al relativo conferitore, ma l'attività – protrattasi tra aprile e settembre 2017 – si è rivelata poco indicativa a causa dell'impossibilità operativa nel ricondurre il caricamento di tramoggia al mezzo di conferimento;
- si è proceduto all'analisi in campo sui mezzi conferitori per determinare la presenza di vapori di mercurio nel carico.

Il punto fondamentale, fatte salve tutte le integrazioni impiantistiche tecnicamente applicabili ed economicamente sostenibili, rimane quello della relativamente frequente presenza di mercurio nei rifiuti conferiti all'impianto in quantità significative.

### 3.1 Strumentazione di monitoraggio

Il Mercurio nei fumi è contenuto in differenti forme: Mercurio elementare, Mercurio ionico e Mercurio adsorbito sul particolato; generalmente si richiede la misura del Mercurio totale, vale a dire la somma delle diverse forme specifiche. A tale scopo è stato installato un convertitore termo catalitico che trasforma le diverse forme di Mercurio presenti nei fumi in Mercurio elementare( $\text{Hg}^0$ ), i cui vapori sono analizzati da un detector UV, che ne determina la concentrazione su base secca.

In particolare TRM è dotato del misuratore Durag HM-1400 TRX del quale è possibile approfondire le caratteristiche tecniche consultando l'Allegato 6.

Tale dispositivo è un misuratore continuo sensibile al mercurio che funziona come un sistema di misurazione automatizzato (AMS) per monitorare la concentrazione totale di mercurio in diversi tipi di gas di scarico. HM-1400 TRX estrae il gas campione da una pila con l'aiuto di un sistema di campionamento riscaldato. In particolare la sonda, la linea di trasferimento e il filtro sono riscaldati a 180 °C, al fine di evitare condensazione e trasportare il Mercurio ionico fino al reattore termocatalitico.

HM-1400 TRX funziona utilizzando il metodo di spettroscopia di assorbimento atomico a vapore freddo (CVAAS).

Dopo il condizionamento del gas campione, la rimozione di condensa, l'umidità e le particelle, il gas campione viene analizzato dal fotometro UV a doppio raggio.

Usando il rivelatore a doppio raggio, gli effetti di interferenza incrociati UV di composti come  $\text{SO}_2$  o aromatici possono essere ridotti al minimo. Per la regolazione dello strumento, la casa produttrice, fornisce un manuale o in alternativa un modulo di calibrazione automatico.

HM-1400 TRX è dotato di una sonda di campionamento riscaldata SP 2000, utile per la separazione delle particelle dal gas campione. Il mercurio adsorbito da queste particelle verrà rilasciato a 180 °C.

Infine il gas campione viene convogliato attraverso la linea riscaldata (180 °C) dalla sonda di campionamento alla custodia dell'analizzatore dove si trova il sistema completo di trattamento del gas campione ed il rivelatore.

## 3.2 Limiti di emissione

Per trattare questo argomento si è fatto riferimento alla normativa vigente espressa dal Decreto Legislativo del 4 marzo 2014, n. 46 *Attuazione della direttiva 2010/75/CE relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento)*. Decreto che è entrato in vigore dall'11/04/2014.

All'art.15 del presente decreto sono riportate le *modifiche al Titolo III della parte Quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e successive modificazioni*. In particolare al comma 1, il decreto indica l'inserimento, dopo l'articolo 237 del decreto legislativo 3 aprile 2006 n. 152, del seguente Titolo:

### *“TITOLO III-bis INCENERIMENTO E COINCENERIMENTO DEI RIFIUTI*

All'art. 237-bis del titolo III-bis sono definite la finalità e l'oggetto, come segue:

1. Il presente titolo definisce le misure e le procedure atte a prevenire oppure, qualora non sia possibile, a ridurre gli effetti negativi delle attività di incenerimento e coincenerimento dei rifiuti, ed in particolare le emissioni delle suddette attività nell'aria, nel suolo, nelle acque superficiali e sotterranee, al fine di conseguire un elevato livello di protezione dell'ambiente e di tutela della salute umana.
2. Ai fini di cui al comma 1, il presente titolo disciplina:
  - a. i valori limite di emissione degli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti;
  - b. i metodi di campionamento, di analisi e di valutazione degli inquinanti derivanti dagli impianti di incenerimento e di coincenerimento dei rifiuti;
  - c. 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, con particolare riferimento all'esigenza di assicurare un'elevata protezione dell'ambiente contro le emissioni causate dall'incenerimento e dal coincenerimento dei rifiuti”.

Sempre al titolo III-bis, all'art. 237-ter, rispettivamente alle lettere *n* ed *o*, sono presenti le definizioni di “emissione” e “limiti di emissione”, le quali recitano:

- “*emissione*”: lo scarico diretto o indiretto, da fonti puntiformi o diffuse dell'installazione, di sostanze, vibrazioni, calore o rumore nell'aria, nell'acqua o nel suolo;
- “*valori limite di emissione*”: la massa, espressa in rapporto a determinati parametri specifici, la concentrazione oppure il livello di un'emissione che non devono essere superati in uno o più periodi di tempo.

Al comma 1 dell' art. 19 *Modifiche all'articolo 268 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni* del D. Lgs. 46/2004 sopra citato, viene indicata la definizione di emissione in atmosfera, precisamente, riportando il testo:

1. “All'articolo 268, comma 1, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, sono apportate le seguenti modifiche:
  - a. la lettera *b*) è sostituita dalla seguente:
  - b. “*emissione in atmosfera*”: qualsiasi sostanza solida, liquida o gassosa introdotta nell'atmosfera che possa causare inquinamento atmosferico e, per le attività di cui all'articolo 275, qualsiasi scarico, diretto o indiretto, di COV nell'ambiente”.

All'art. 27 *Modifiche agli allegati alla Parte quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152* e più precisamente il comma 5 di tale articolo avvisa che:

*Dopo l'allegato L alla Parte quarta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, prima della pagina di riepilogo degli allegati al Titolo V della Parte quarta, son aggiunti i seguenti allegati:*

- Allegato 1 al Titolo III-bis alla Parte Quarta (Norme tecniche e valori limite di emissione per gli impianti di incenerimento di rifiuti)
- Allegato 3 al Titolo III-bis alla Parte Quarta (Norme tecniche per il coincenerimento dei prodotti trasformati derivati da materiali di categoria 1, 2 e 3 di cui al regolamento 1069/2009/CE)

Si citerà solo ciò che è riportato nell'allegato 1, in quanto il coincenerimento dei prodotti trasformati non è argomento del presente elaborato.

In particolare al punto 3 del paragrafo A dell'allegato 1 sono riportati i valori limite di emissione medi ottenuti con misurazione in discontinuo su un periodo di campionamento minimo di 30 minuti e massimo di 8 ore espressi in  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , ed in particolare il limite di emissione in atmosfera per il mercurio è pari a  $0,05 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ .

Da precisare che per il presente elaborato, tale limite sarà ad uso indicativo in quanto il metodo di misurazione esaminato ed attualmente installato nell'inceneritore in esame, è in continuo. Questo metodo, per il mercurio, non è ancora riconosciuto a livello legislativo europeo.

Al paragrafo B del suddetto allegato è indicato il metodo di normalizzazione, in quanto i dati di emissione, devono essere corretti in base alla pressione e temperatura standard e riferiti ad un tenore preciso di ossigeno, come indicato nel documento Best available techniques Reference document (BREFs waste incineration) del 08/2006 e nel fromal Draft del 05/2017, ed in particolare:

- Pressione 101,3 kPa;
- Gas secco;
- Tenore di ossigeno di riferimento nell'effluente gassoso secco pari all'11% in volume, utilizzando la seguente formula:

$$E_s = \frac{(21 - O_s)}{(21 - O_m)} \cdot E_m$$

Nella quale:

$E_s$  = concentrazione di emissione calcolata al tenore di ossigeno di riferimento;

$E_m$  = concentrazione di emissione misurata;

$O_s$  = tenore di ossigeno di riferimento;

$O_m$  = tenore di ossigeno misurato.

Al paragrafo C del presente allegato vengono indicati i metodi di valutazione dell'osservanza dei valori limite di emissione in atmosfera per misurazioni in continuo e periodiche.

In particolare per le *misurazioni in continuo* i valori limite di emissione si intendono rispettati se, come riportato alla lettera d), nessuno dei valori medi rilevati per i metalli pesanti, le diossine e i furani, gli idrocarburi policiclici aromatici, e i policlorobifenili (PCB-DL), durante il periodo di campionamento supera i pertinenti valori limite di emissione stabiliti al paragrafo A, punti 3 e 4.

Inoltre è da tenere presente che i valori medi su 30 minuti e i valori medi su 10 minuti sono determinati durante il periodo di effettivo funzionamento (esclusi i periodi di avvio e di arresto se non vengono inceneriti rifiuti) in base ai valori

misurati, previa sottrazione del rispettivo valore dell'intervallo di confidenza al 95% riscontrato sperimentalmente.

Infine per le *misurazioni periodiche*, la valutazione della rispondenza delle misurazioni ai valori limite di emissione si effettua sulla base di quanto previsto dalle norme tecniche.

La norma tecnica a cui si deve fare riferimento per ciò che concerne alle misurazioni periodiche di mercurio, come indicato nella tabella alla lettera C dell'allegato 1, è la UNI EN 13211:2003, come già esposto nel capitolo "*Monitoraggio mercurio*".

È importante notare che in caso di misure discontinue, al fine di valutare la conformità delle emissioni convogliate ai valori limite di emissione, la concentrazione è calcolata preferibilmente come media di almeno 3 campionamenti consecutivi e riferiti ciascuno ai periodi di campionamento indicati all'Allegato 1, lettera A nelle condizioni di esercizio più gravose dell'impianto.

Da precisare che il limite di emissione è attualmente stabilito sulla base di campionamenti discontinui.

Il limite di emissione del mercurio indicato in precedenza pari a  $0,05 \text{ mg/Nm}^3$  è in accordo con il dato riportato nel documento Best available techniques Reference document (BREFs waste incineration) del 08/2006, che in particolare indica un range compreso tra  $0,0014$  e  $0,05 \text{ mg/Nm}^3$  (11% di  $\text{O}_2$ ) valido per misurazioni in continuo e in discontinuo. Tale range non indica un limite fiscale bensì indica il range prestazionale associato alle migliori tecniche disponibili, in quanto i valori limite sono fissati dalla normativa comunitaria.

Da notare che la presente Brefs è in fase di revisione, infatti è stata pubblicata nel maggio 2017 la prima formal draft (bozza formale).

Le formal draft, come indicato dalla direttiva europea 2012/119/EU "*Decisione di esecuzione della Commissione, del 10 febbraio 201, che stabilisce le regole relative alle linee guida concernenti la raccolta di dati e l'elaborazione di documenti di riferimento sulle BAT e l'assicurazione della loro qualità di cui alla direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alle emissioni industriali*", sono necessarie al fine di conseguire una revisione di un documento Brefs. Più precisamente il tipico flusso di lavoro per la stesura e la revisione dei BREF include le seguenti tappe:

1. un incontro iniziale, che per il presente Brefs è avvenuto a gennaio 2015;

2. una o due bozze formali del BREF;
3. una riunione finale del TWG (Technical Working Group).
4. pubblicazione ufficiale del documento

Nel formal draft del maggio 2017 i dati inerenti ai range di emissione del mercurio misurati in continuo e in discontinuo sono in fase di revisione, vengono però indicati i livelli di emissione come media annuale, media mensile massima e media giornaliera massima, precisamente:

- media annuale  $\rightarrow$  varia tra il limite di quantificazione strumentale e 0,01 mg/Nm<sup>3</sup>;
- media mensile massima  $\rightarrow$  0,018 mg/Nm<sup>3</sup>;
- media giornaliera massima  $\rightarrow$  0,036 mg/Nm<sup>3</sup>.

### 3.2.1 Superamento limiti

Per analizzare l'andamento delle emissioni di Mercurio in uscita dall'inceneritore di Torino a valle dell'impianto di trattamento fumi e poterne quindi fornire un andamento, si sono elaborati i dati SME a partire dal 10 luglio 2013, fino al 31 dicembre 2017.

Tali dati forniscono le concentrazioni di mercurio emesse dall'inceneritore su base semi-oraria. Sono disponibili 48 valori al giorno espressi in  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e normalizzati in modo da poter essere immediatamente confrontabili con il valore limite di emissione indicato dalla normativa.

Tale normalizzazione prevede l'utilizzo di 4 coefficienti correttivi in:

- Temperatura  $\rightarrow C_T = \frac{T+273,15}{273,15}$
- Pressione  $\rightarrow C_P = \frac{1013}{P}$
- Umidità  $\rightarrow C_U = \frac{100}{100-U}$
- Ossigeno  $\rightarrow C_O = \frac{21-O_{rif}}{21-O_{mis}}$

Dove:

T  $\rightarrow$  temperatura [ $^{\circ}\text{C}$ ] misurata a camino

P  $\rightarrow$  pressione [Pa] misurata a camino

U  $\rightarrow$  umidità [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] misurata a camino

O<sub>rif</sub>  $\rightarrow$  ossigeno di riferimento [%V]

$O_{\text{mis}}$  → ossigeno misurato a camino[%V]

Per fornire tale panoramica si è eseguita una pre-elaborazione di filtraggio dei dati SME come segue:

- filtrazione dei dati, in particolare si sono considerati solo i dati relativi ad uno stato dell'impianto in marcia regolare;
- verifica delle cause e delle motivazioni fornite da TRM quando mancavano dati inerenti a specifiche date;
- eliminazione dei dati misurati in condizioni di spegnimento;
- eliminazione dei dati in cui, pur essendo l'impianto in marcia regolare, i valori relativi a tale data risultavano nulli.

Tale "pulizia" è stata eseguita per rendere lo studio più rappresentativo, inoltre motiva la mancanza di alcuni periodi di dati nei risultati.

A causa dell'elevato numero di dati semi-orari disponibili, si è deciso, al fine di rendere più leggibili i grafici finali, di fornire una panoramica annuale.

Inoltre, al fine di fornire un dato più esaustivo si è scelto di determinare il flusso di massa medio mensile in uscita dal camino a partire dal dato emissivo fornito dai dati SME. Per la determinazione del flusso di massa sono stati fondamentali i coefficienti correttivi sopra citati. In particolare per il 2017 si è calcolato anche il flusso di massa medio mensile del mercurio a partire dalle misure di concentrazione del mercurio a valle della caldaia e dell'elettrofiltro e a monte del sistema di depurazione fumi. Tale operazione è stata eseguita solo per l'anno 2017 in quanto, negli anni precedenti non si disponeva della misurazione del parametro di processo, come già esposto nei capitoli precedenti.

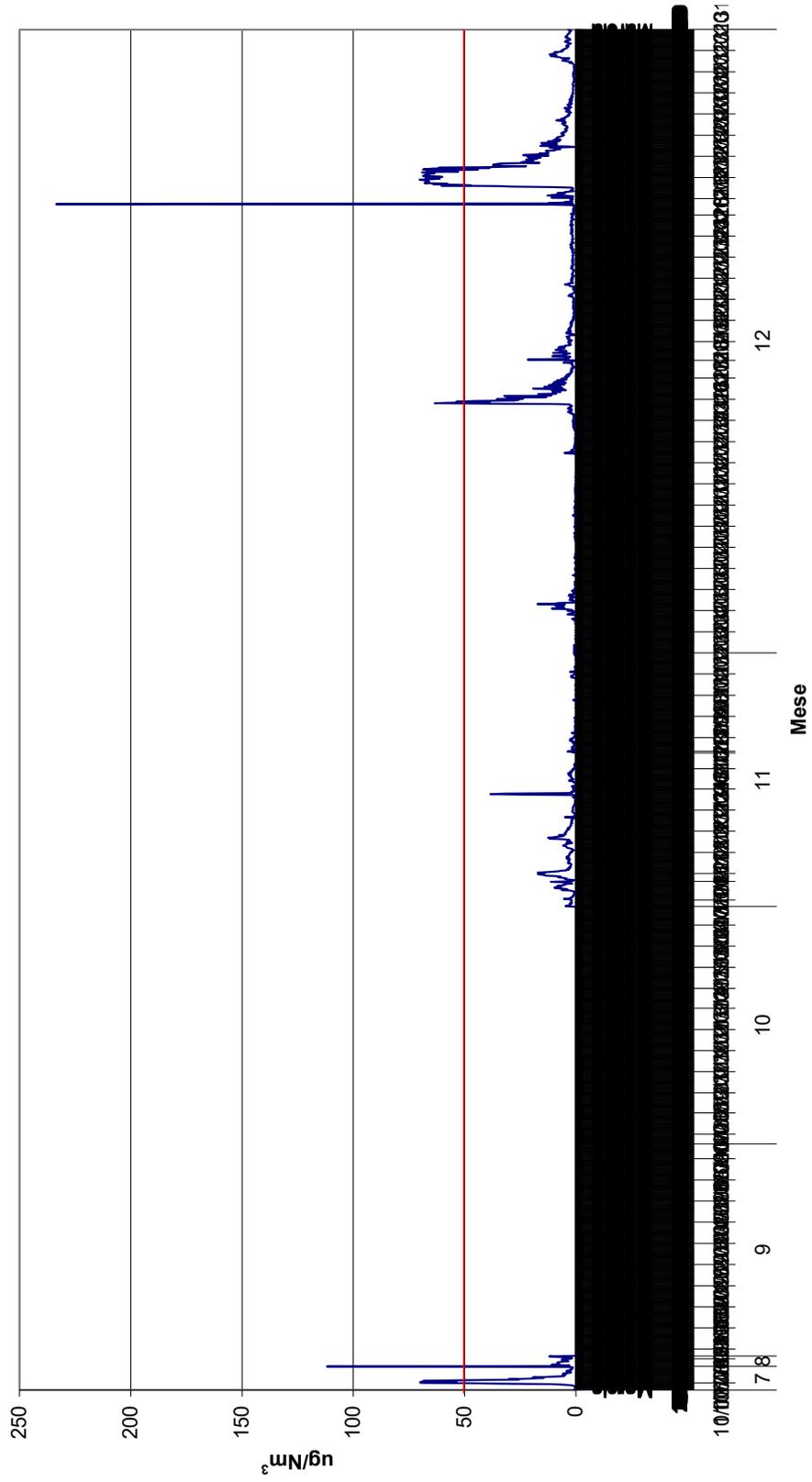
Oltre alla panoramica sviluppata annualmente, ci si è anche focalizzati sul numero di volte che il misuratore a camino ha registrato un superamento semi-orario del limite di emissione pari a  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , anche se il valore limite è su base oraria e deve essere verificato con metodi di misura in discontinuo. È stato scelto questo indicatore in quanto consente di rappresentare chiaramente l'entità del problema emissivo e la sua distribuzione nel tempo e contemporaneamente di individuare i periodi di maggiore criticità che saranno oggetto di approfondimento. Inoltre si è anche calcolato il numero di volte che l'impianto ha superato per più di 1 ora un valore di mercurio  $\geq 700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  in caldaia. Questa soglia è significativa in quanto, come indicato dal gestore, lo scenario di sovraccarico previsto dal progetto riguarda

un periodo massimo di 1 ora ogni 24. Quindi se si supera tale valore di  $700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  per più di un'ora, l'impianto di trattamento fumi non è più in grado di garantire il controllo delle emissioni.

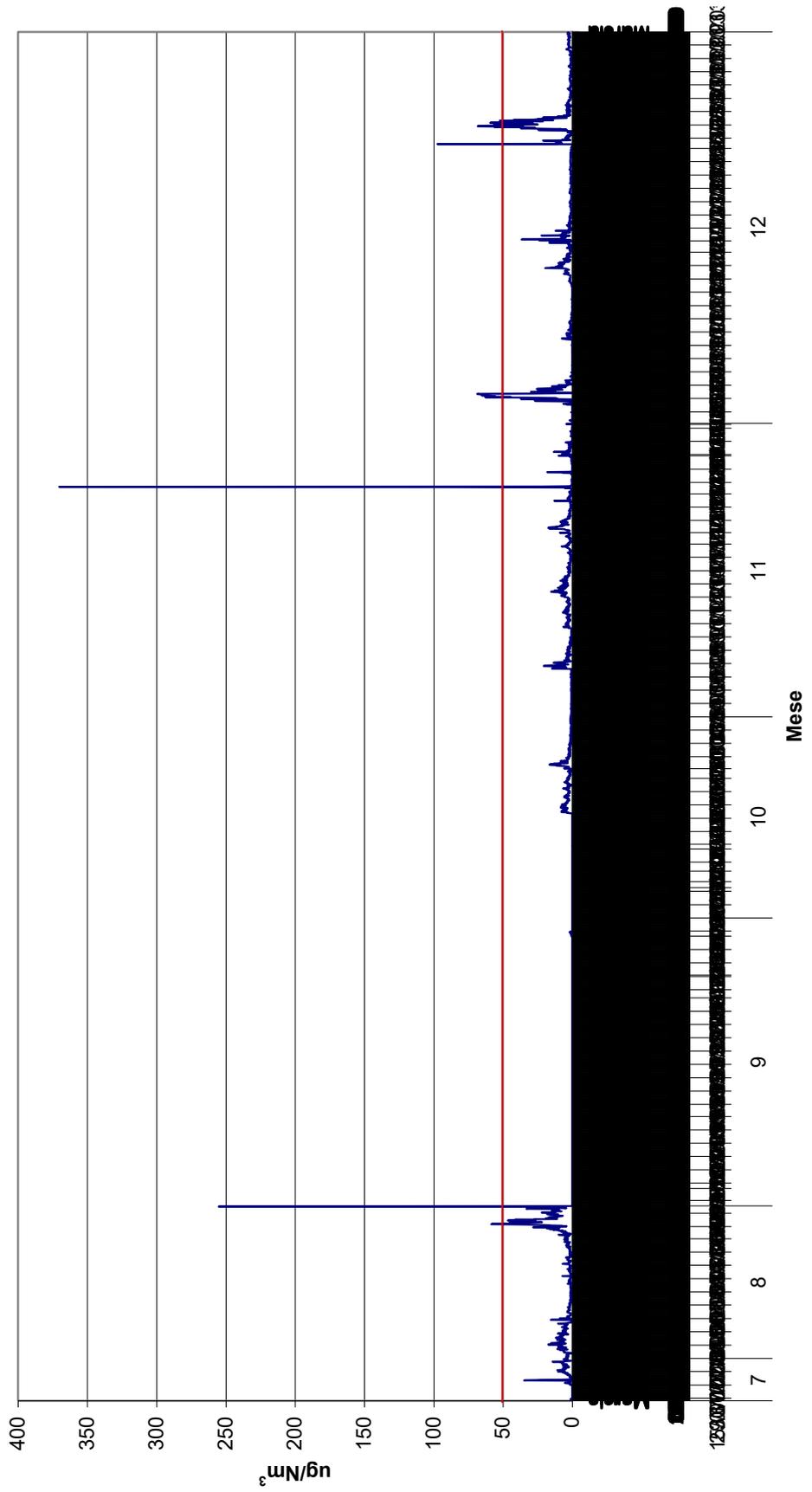
Si riportano di seguito i grafici dell'andamento delle emissioni di mercurio annuali per le singole linee.

N.B.: gli assi delle ascisse talvolta possono non essere confrontabili tra di loro, ciò è dovuto alla filtrazione dei dati, oltre che alla data della concreta installazione dello strumento di misura per le singole linee.

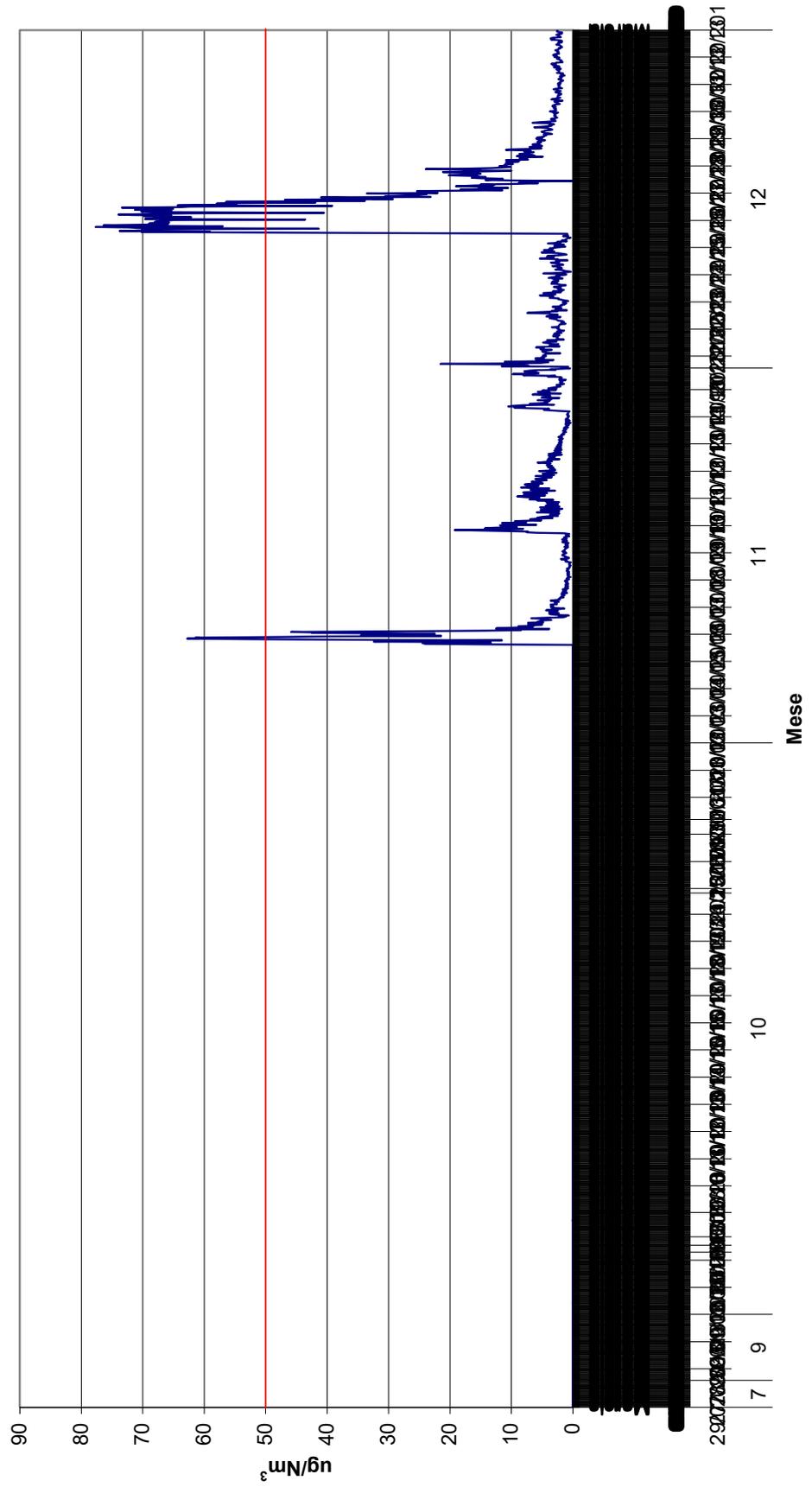
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2013 Linea 1



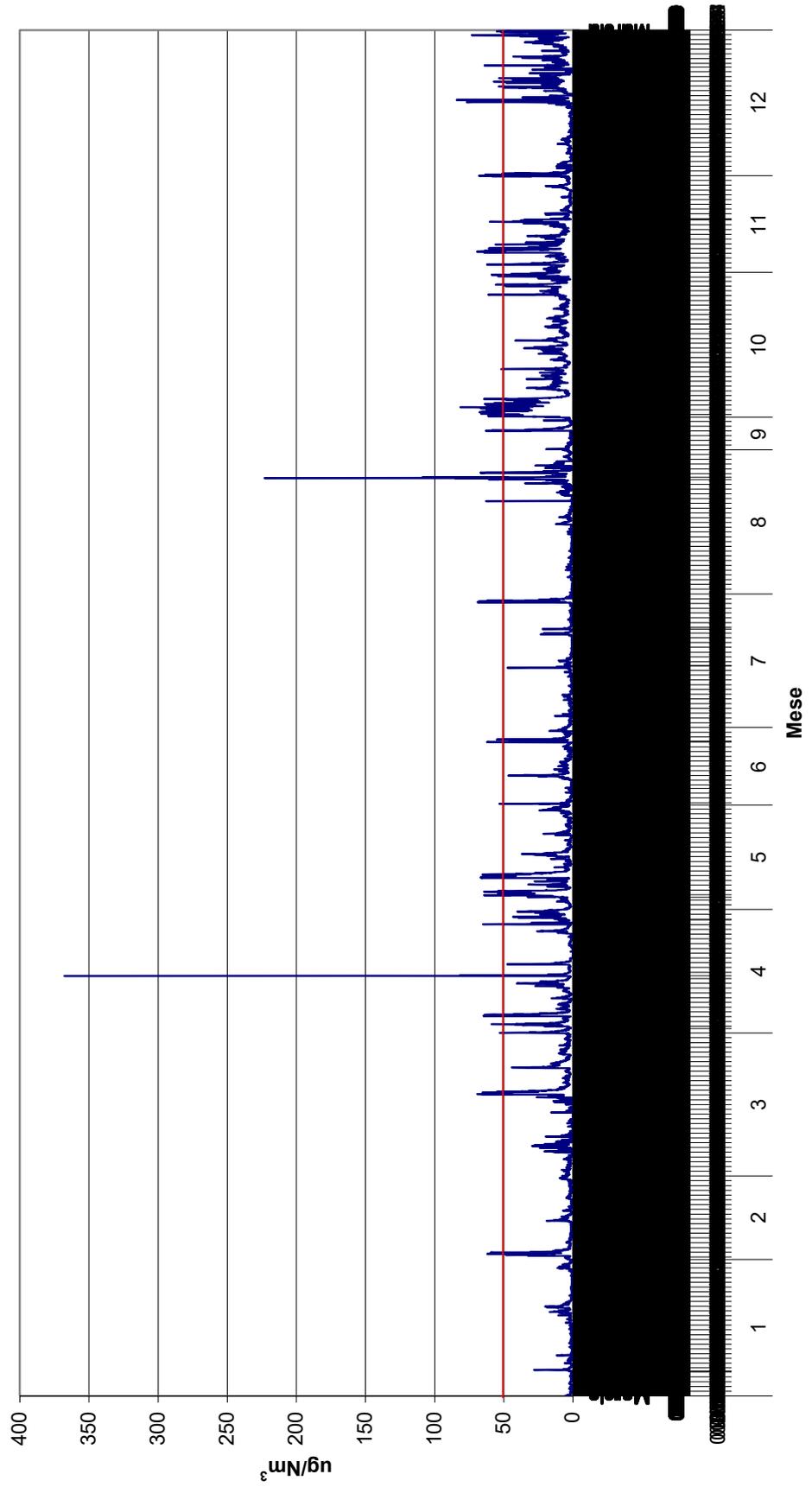
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2013 Linea 2



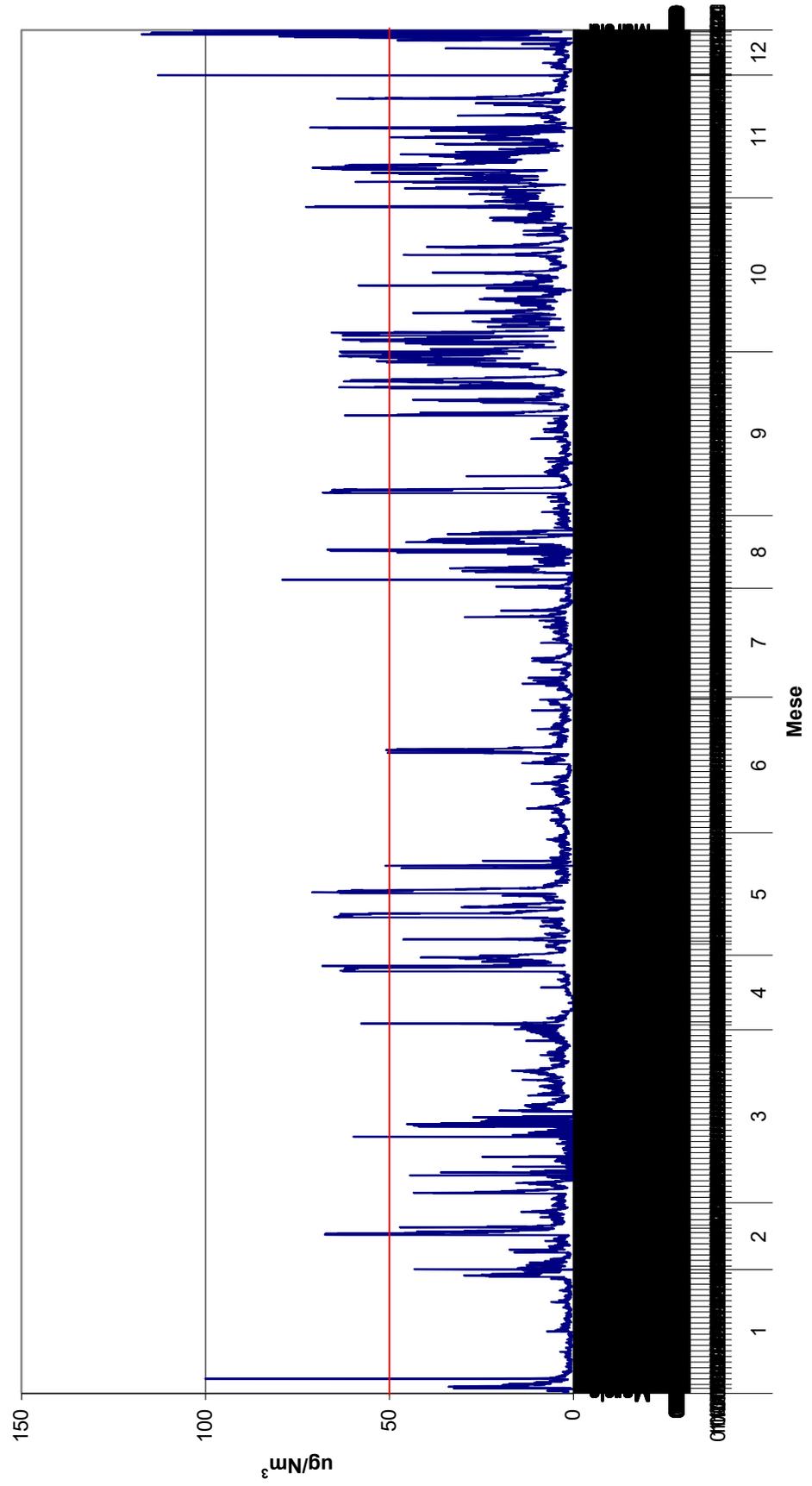
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2013 Linea 3



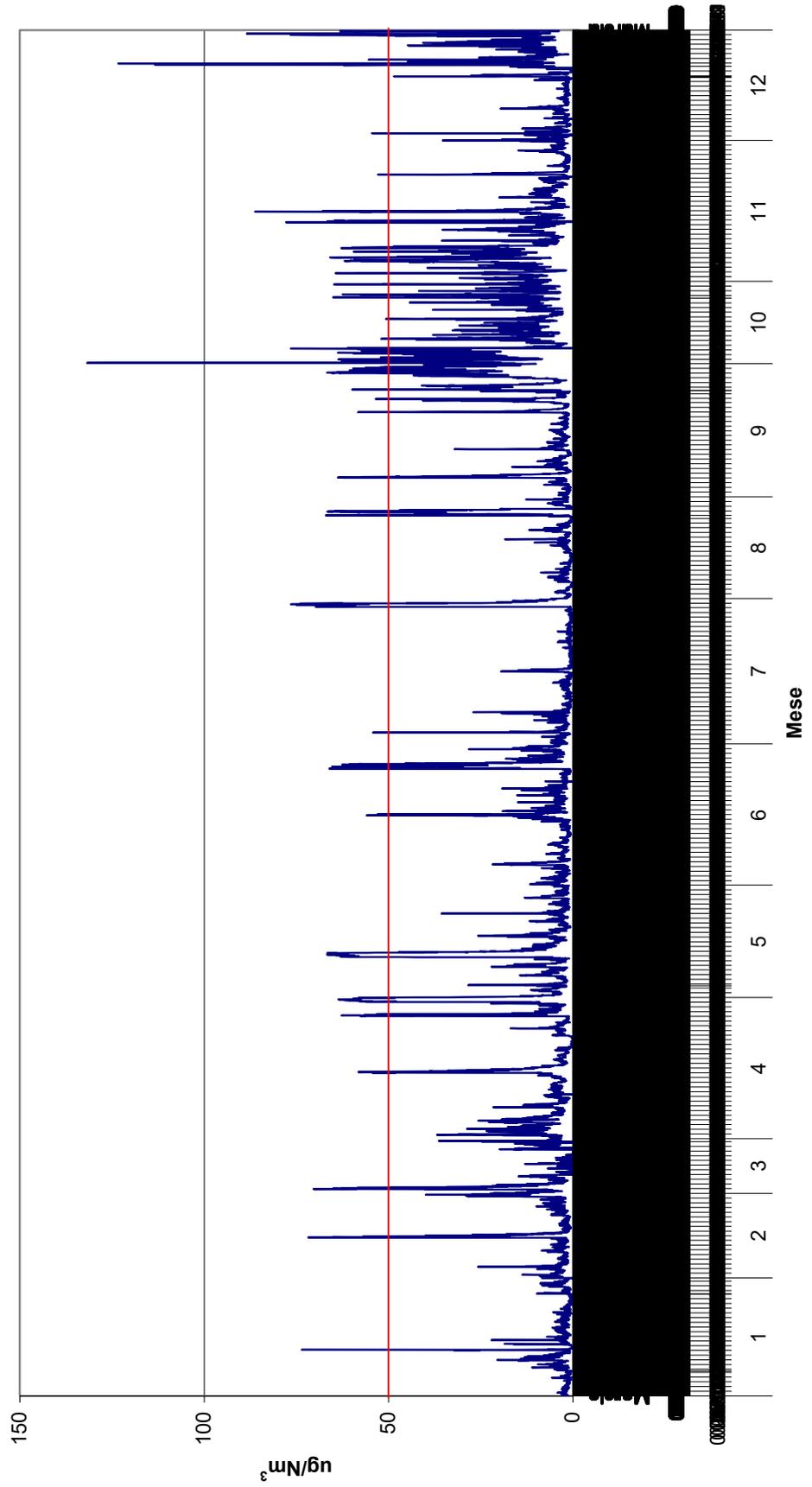
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2014 Linea 1



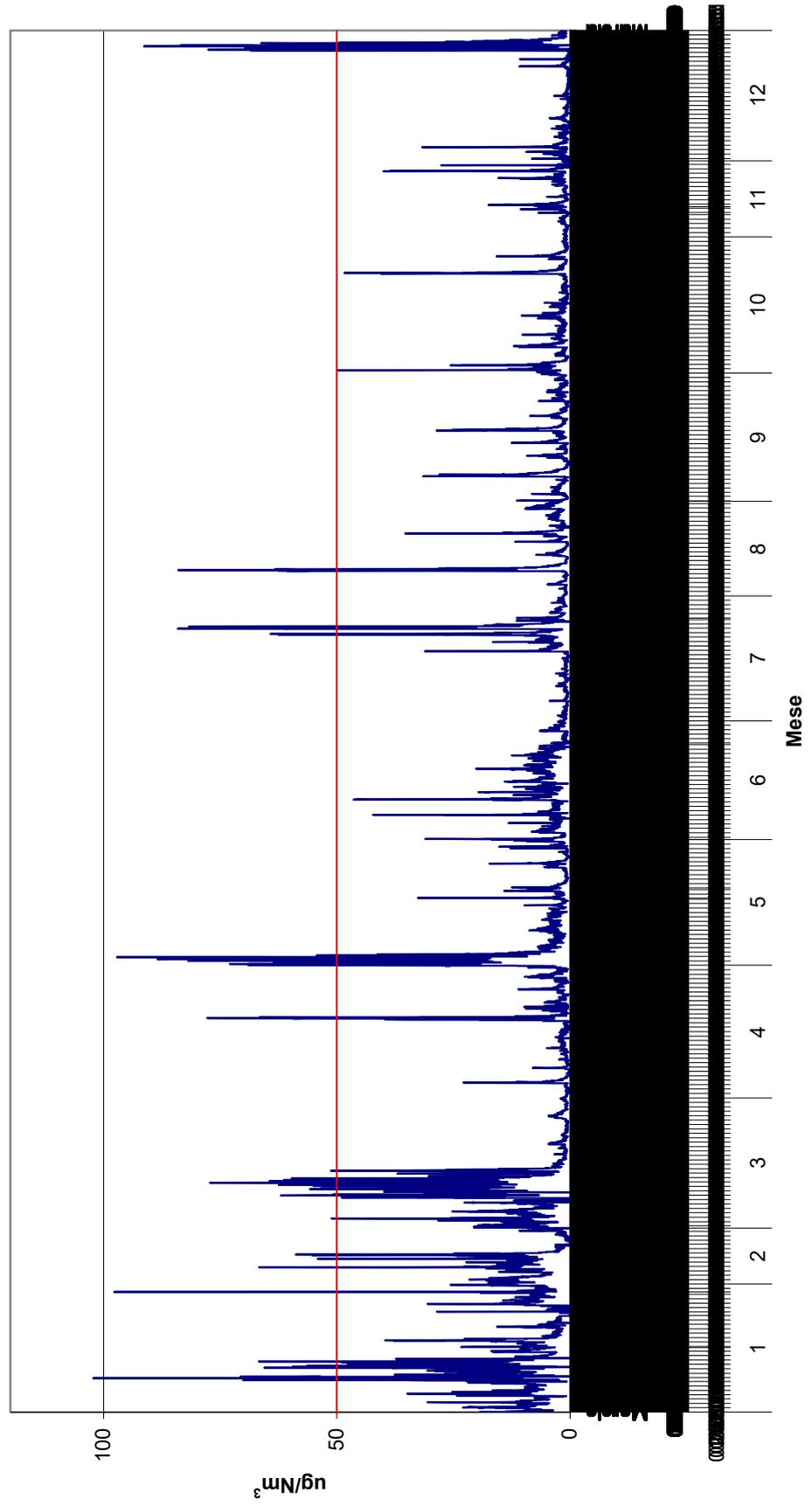
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2014 Linea 2



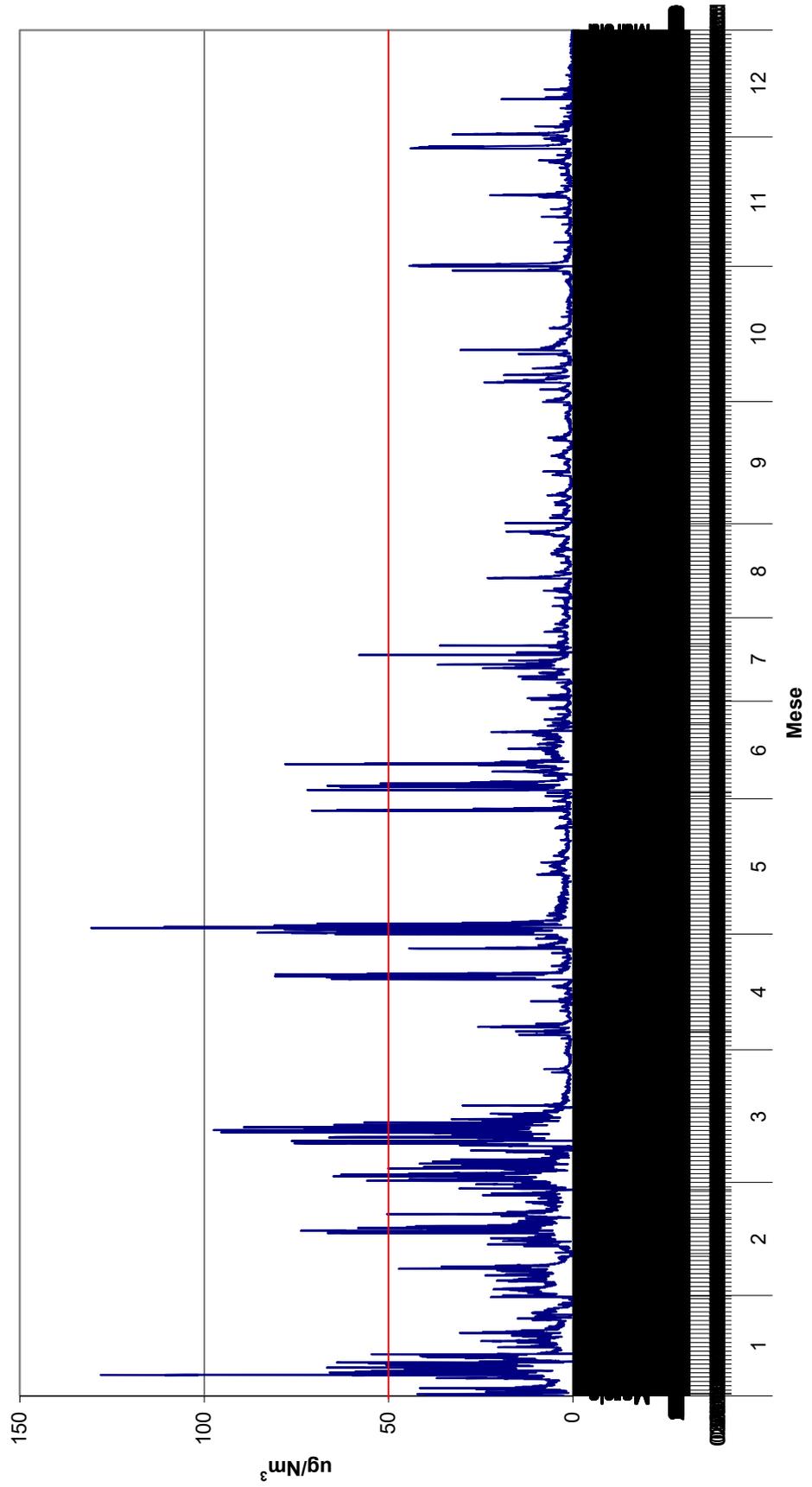
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2014 Linea 3



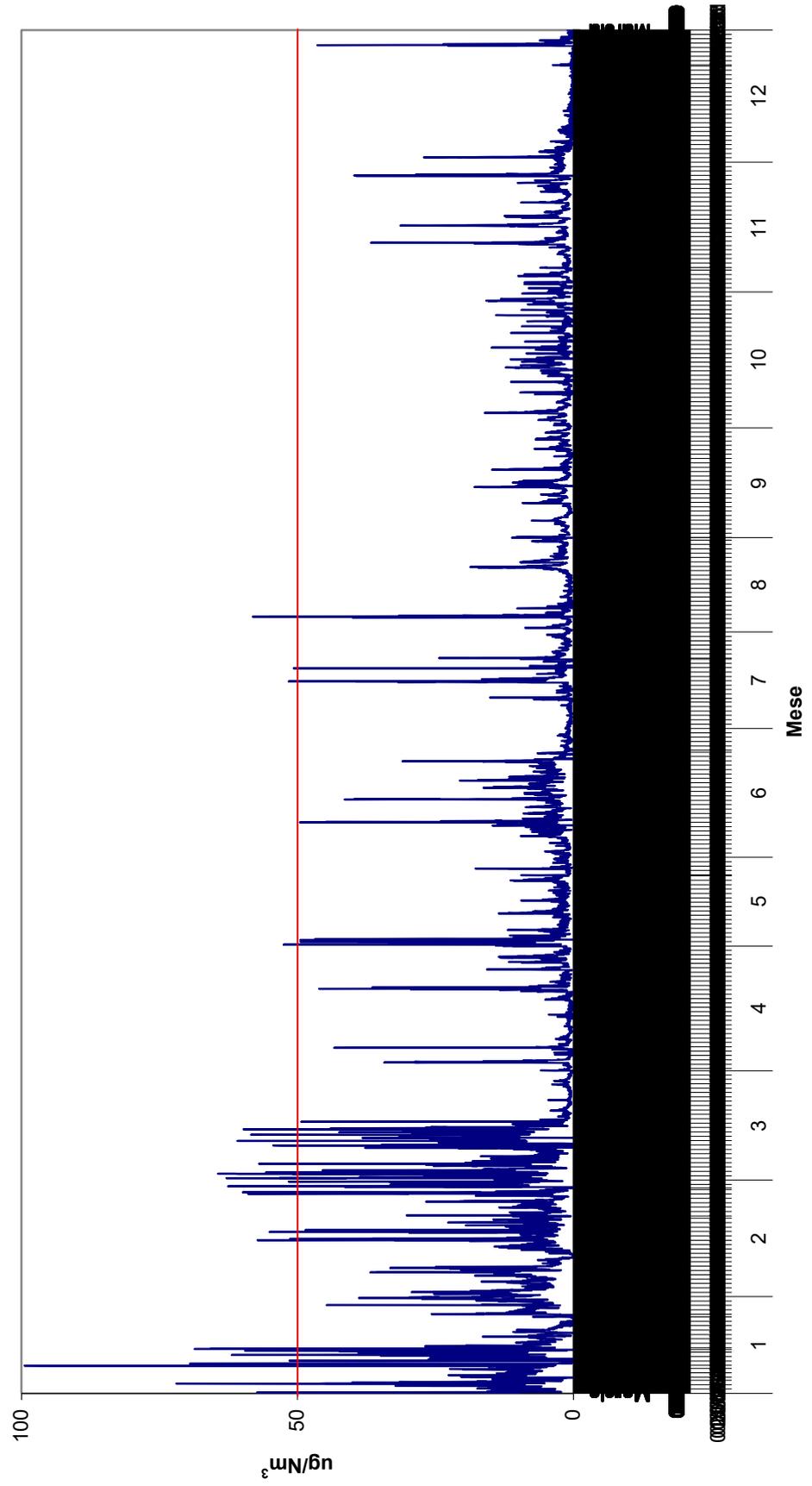
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2015 Linea 1



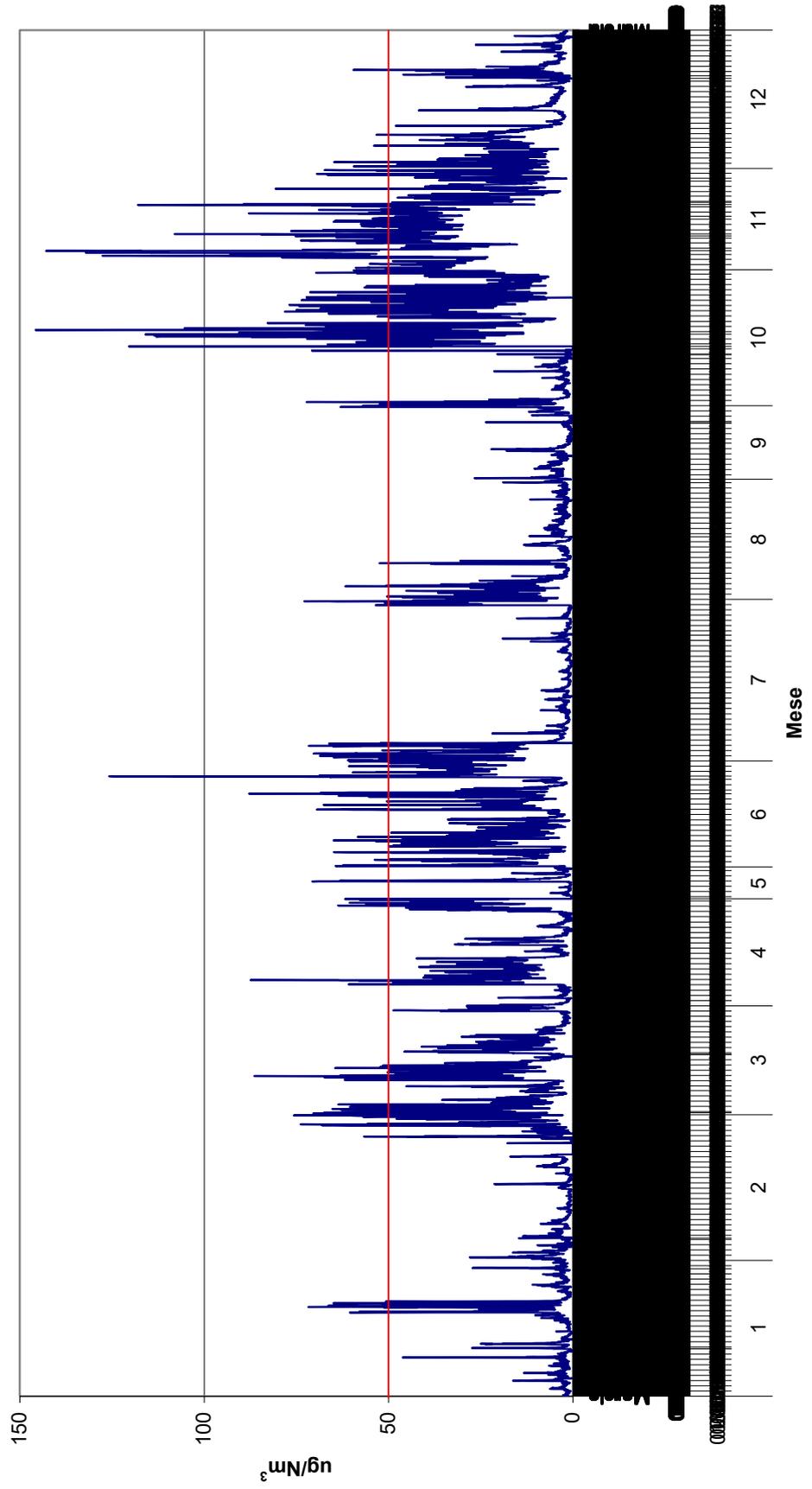
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2015 Linea 2



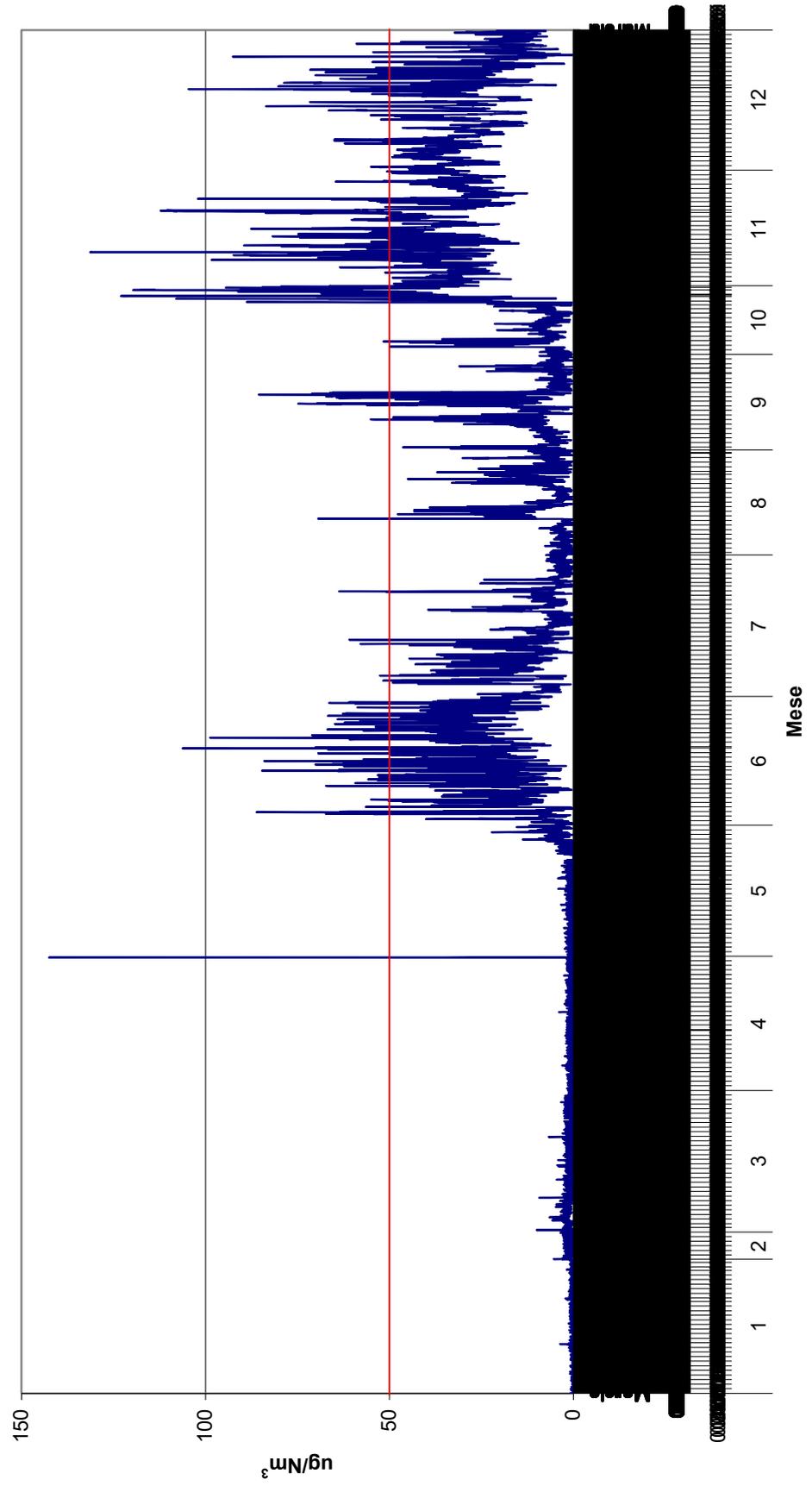
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2015 Linea 3



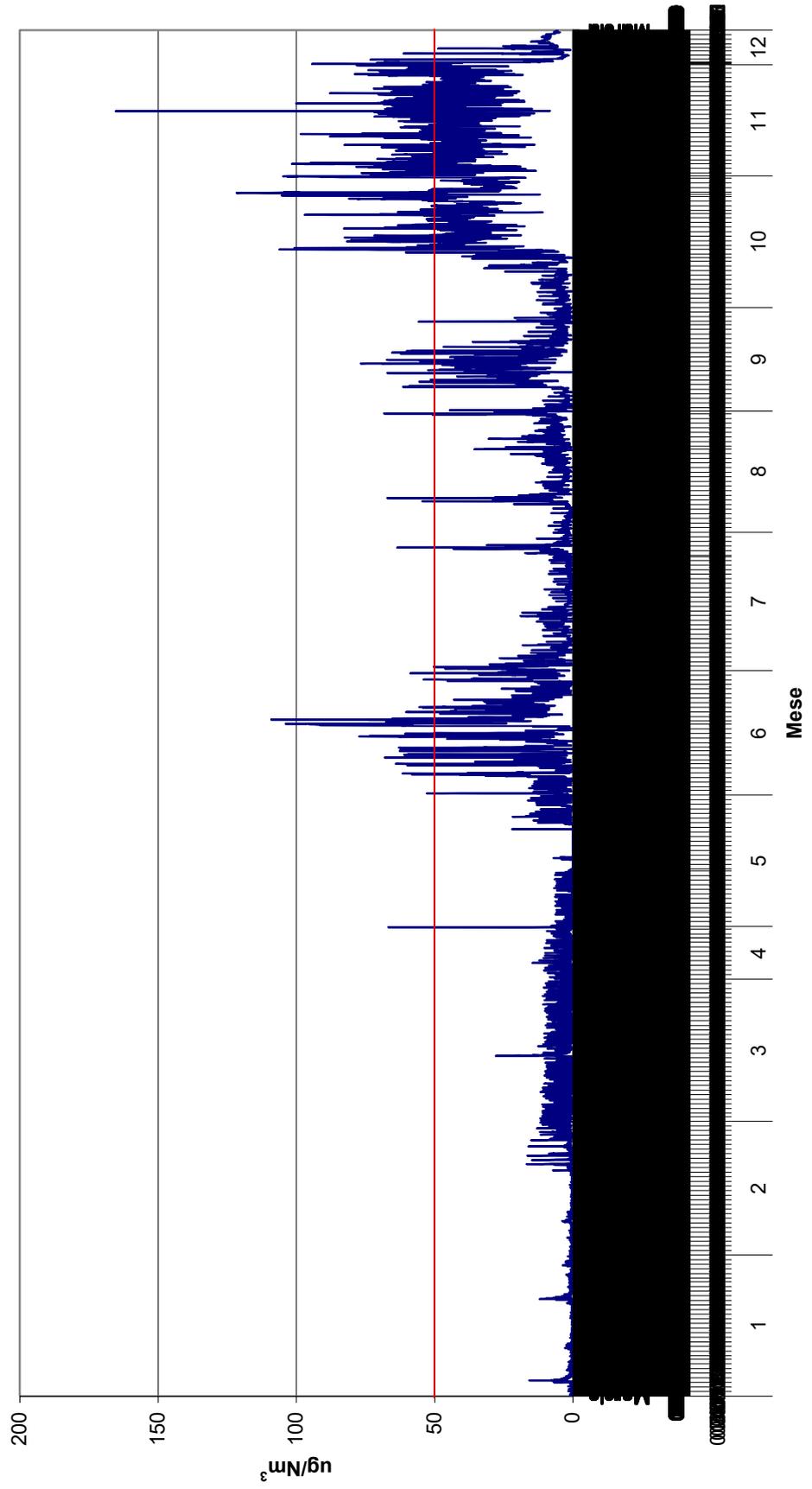
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2016 Linea 1



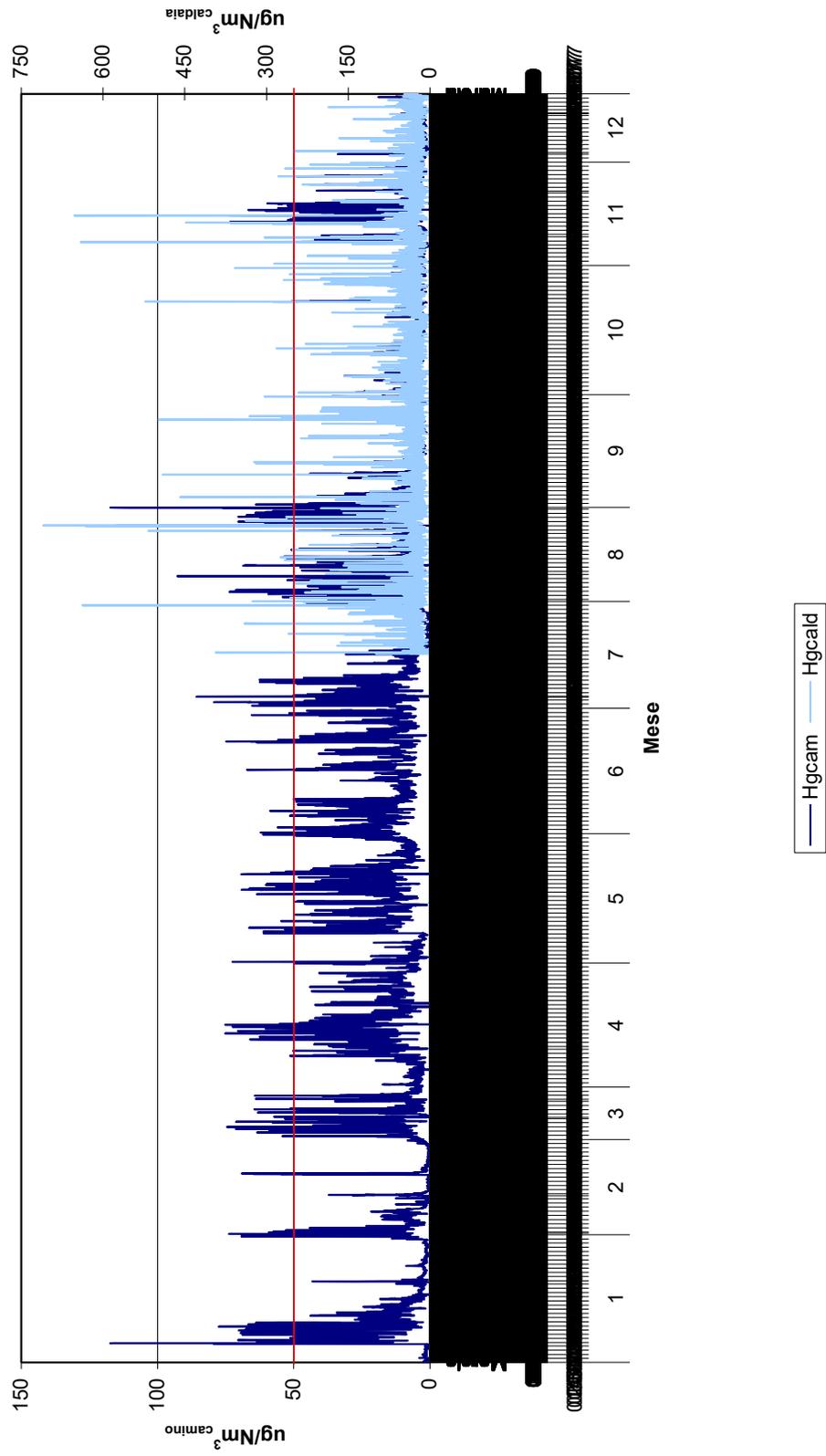
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2016 Linea 2



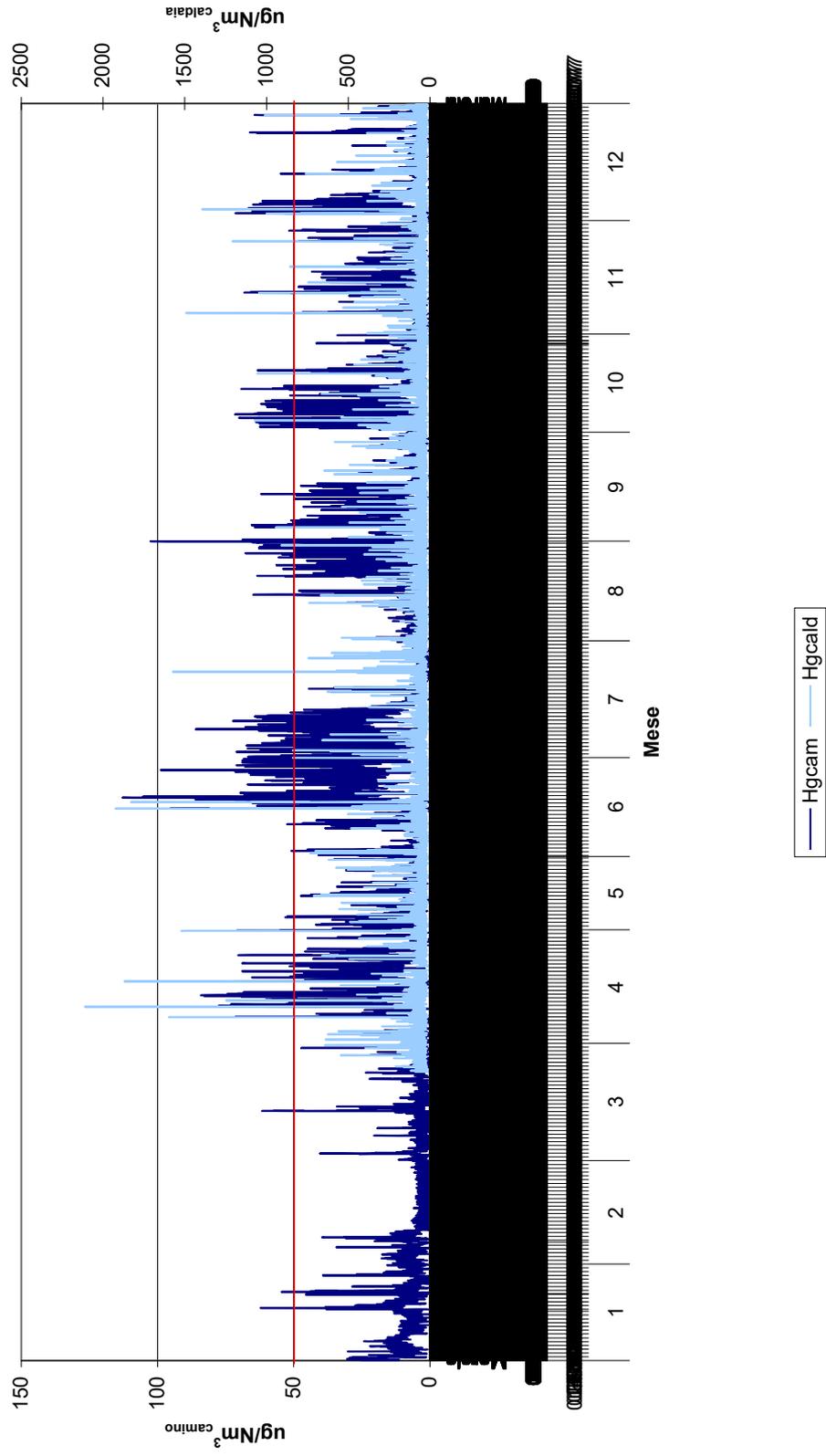
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  2016 Linea 3



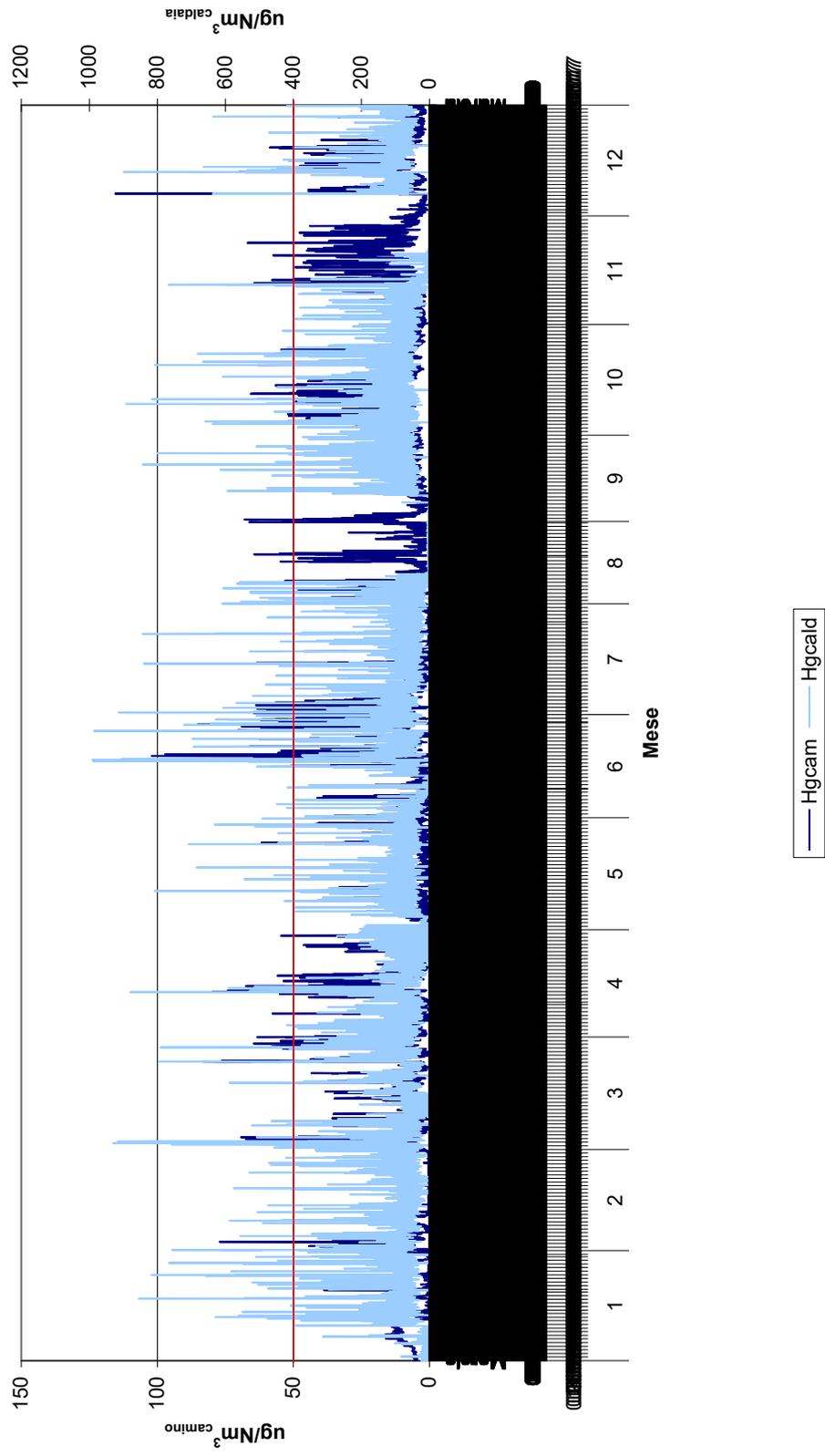
Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  e  $Hg_{cald}$  2017 Linea 1



Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  e  $Hg_{calcd}$  2017 Linea 2



Andamento emissioni  $Hg_{cam}$  e  $Hg_{caid}$  2017 Linea 3



Dai grafici sono osservabili due casi tipici:

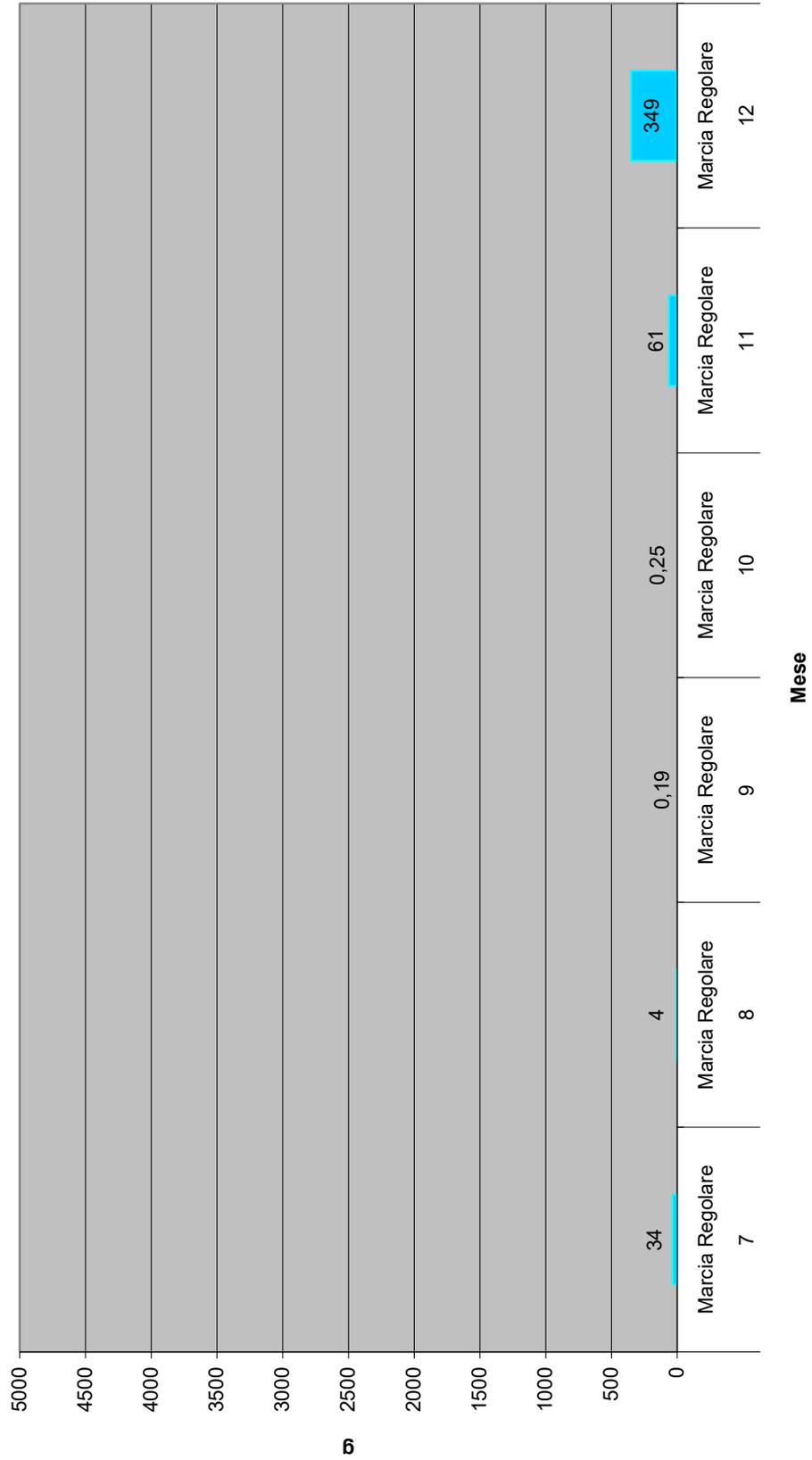
1. Presenza di picchi isolati che raggiungono valori di oltre i  $350 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , in particolare per le date:
  - a. 20/11/2013 linea 2  $\rightarrow 370,37 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ;
  - b. 13/04/2014 linea 1  $\rightarrow 367,77 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .
2. Presenza di periodi di frequente superamento del valore di  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , anche per tempi superiori ad un mese, in particolare si nota questo andamento nei periodi:
  - a. dal 13/10/2016 al 07/12/2016 linea 1
  - b. dal 03/06/2016 al 29/12/2016 linea 2
  - c. dal 13/10/2016 al 26/12/2016 linea 3

Inoltre sono osservabili periodi in cui si registrano emissioni praticamente nulle come si può osservare dal grafico della linea 2 da gennaio ad aprile 2016.

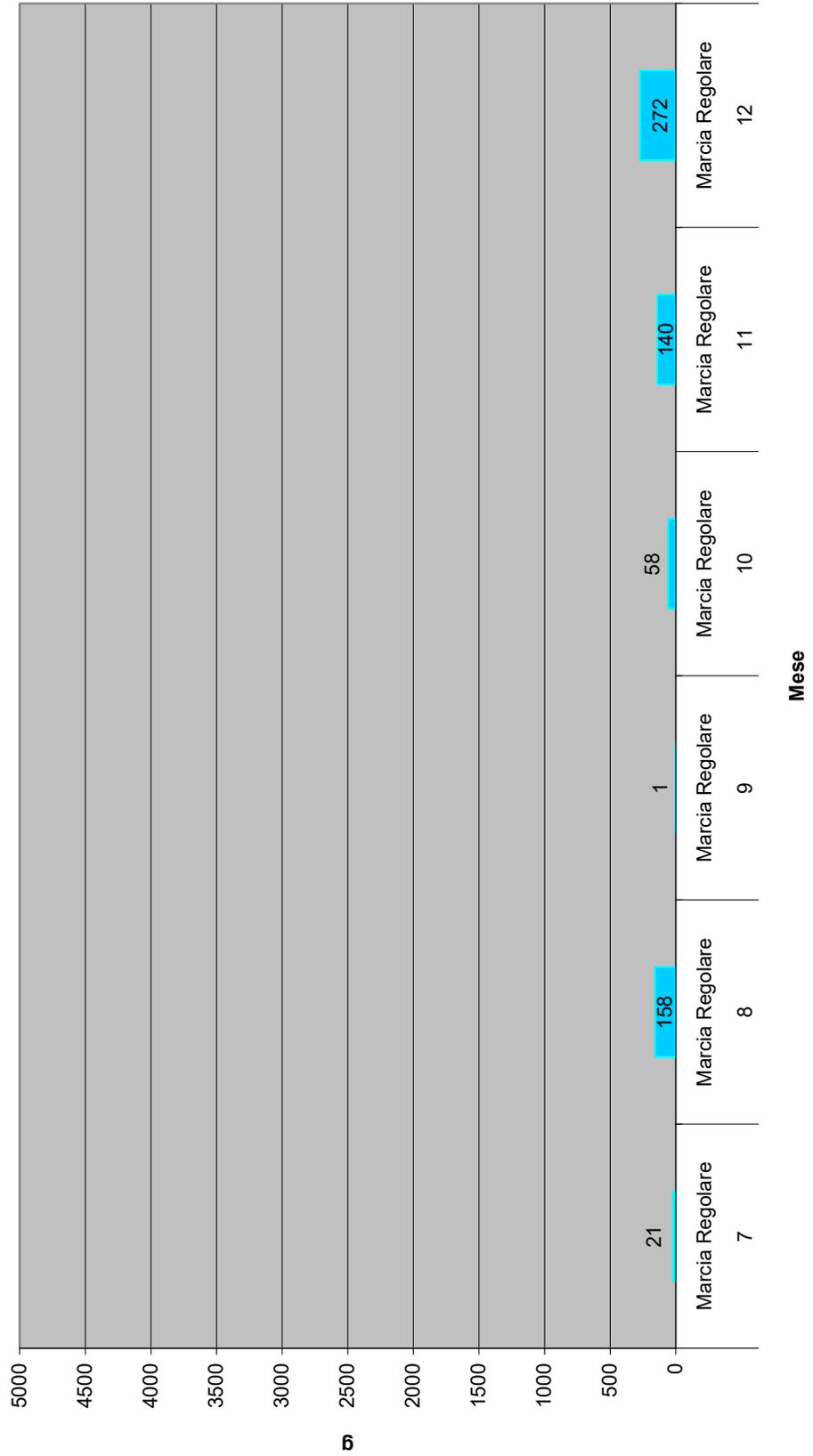
Il che dimostra la complessa variazione del tipo di rifiuto in ingresso all'impianto, oltre all'evidenza di una presenza di mercurio nei rifiuti conferiti all'inceneritore, diversamente dalla composizione elementare del rifiuto che venne ipotizzata in fase di progetto, come già esposto nel capitolo 2.2 *Quantità e caratteristiche del rifiuto relative al mercurio* del presente elaborato.

Si riportano ora, nella pagina seguente, gli istogrammi relativi alla determinazione dei flussi di massa mensili con successive tabelle riepilogative.

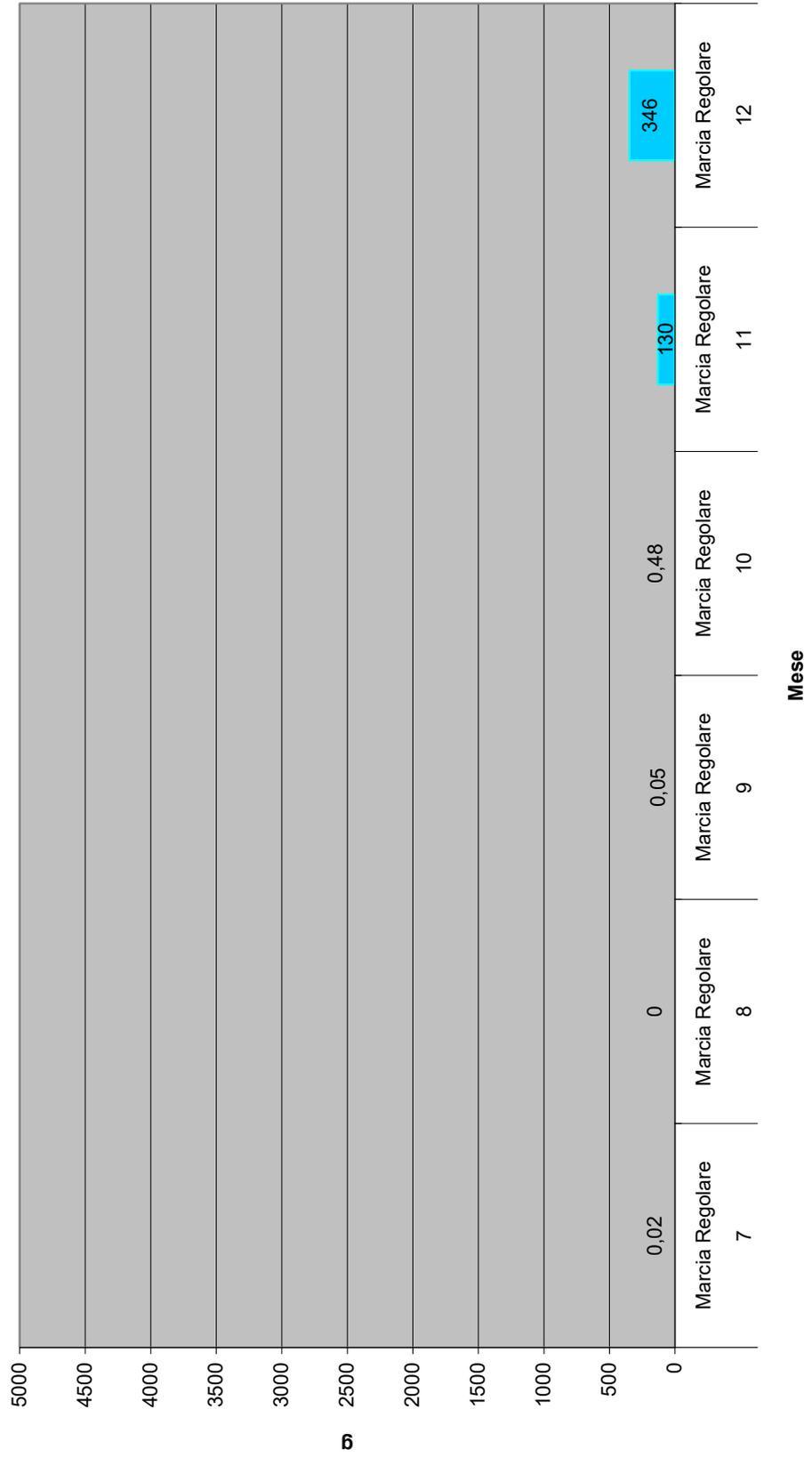
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2013 Linea 1



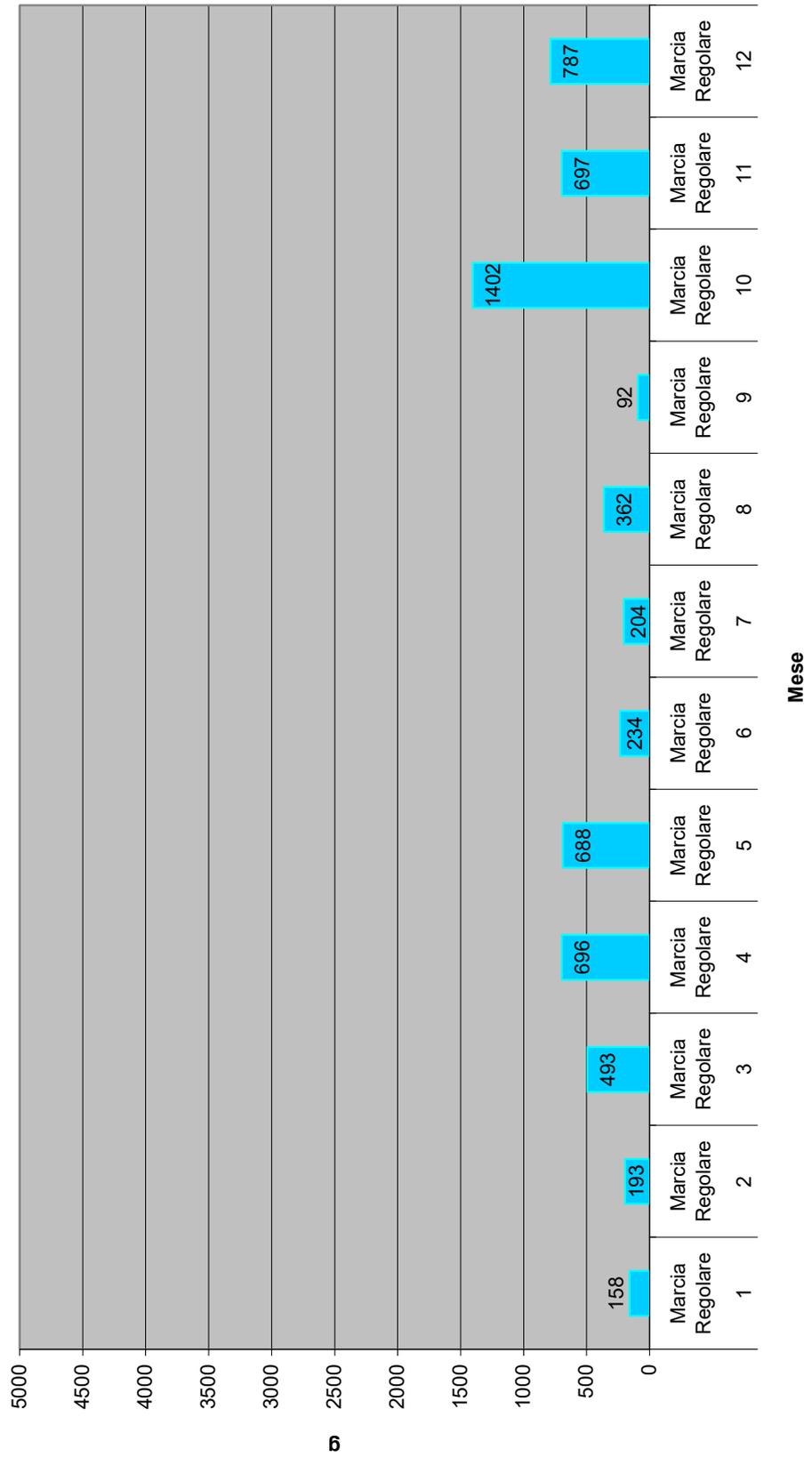
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2013 Linea 2



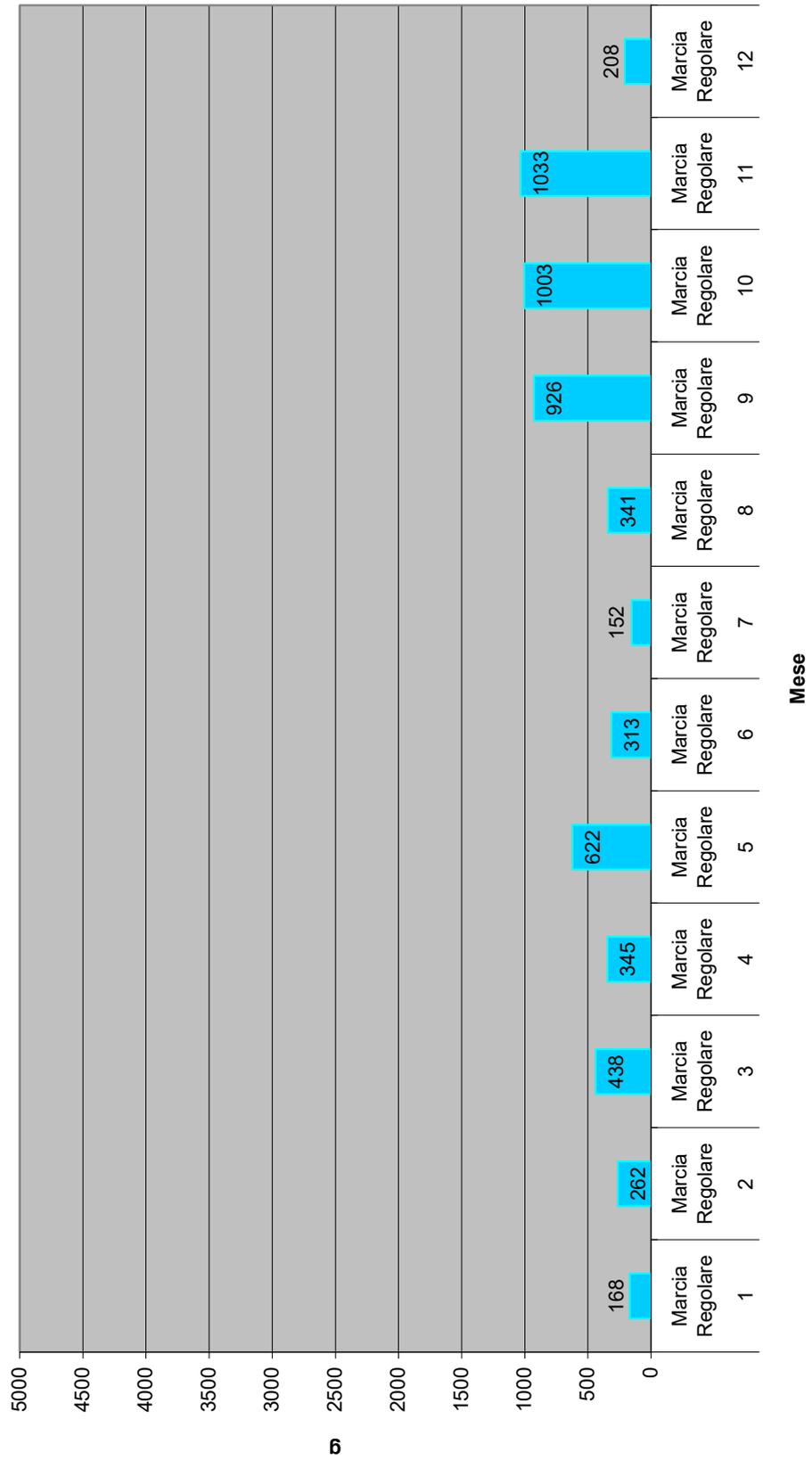
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2013 Linea 3



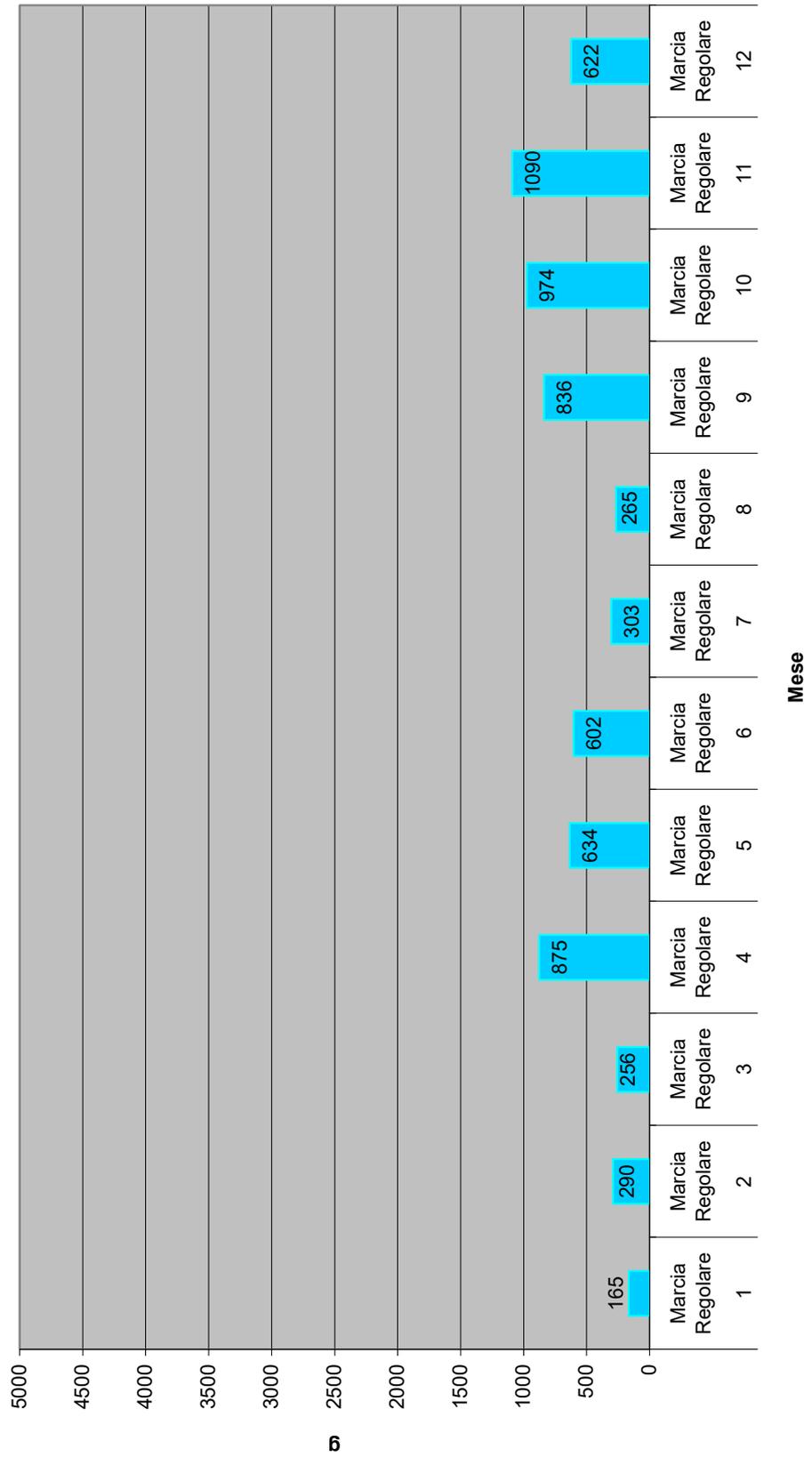
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2014 Linea 1



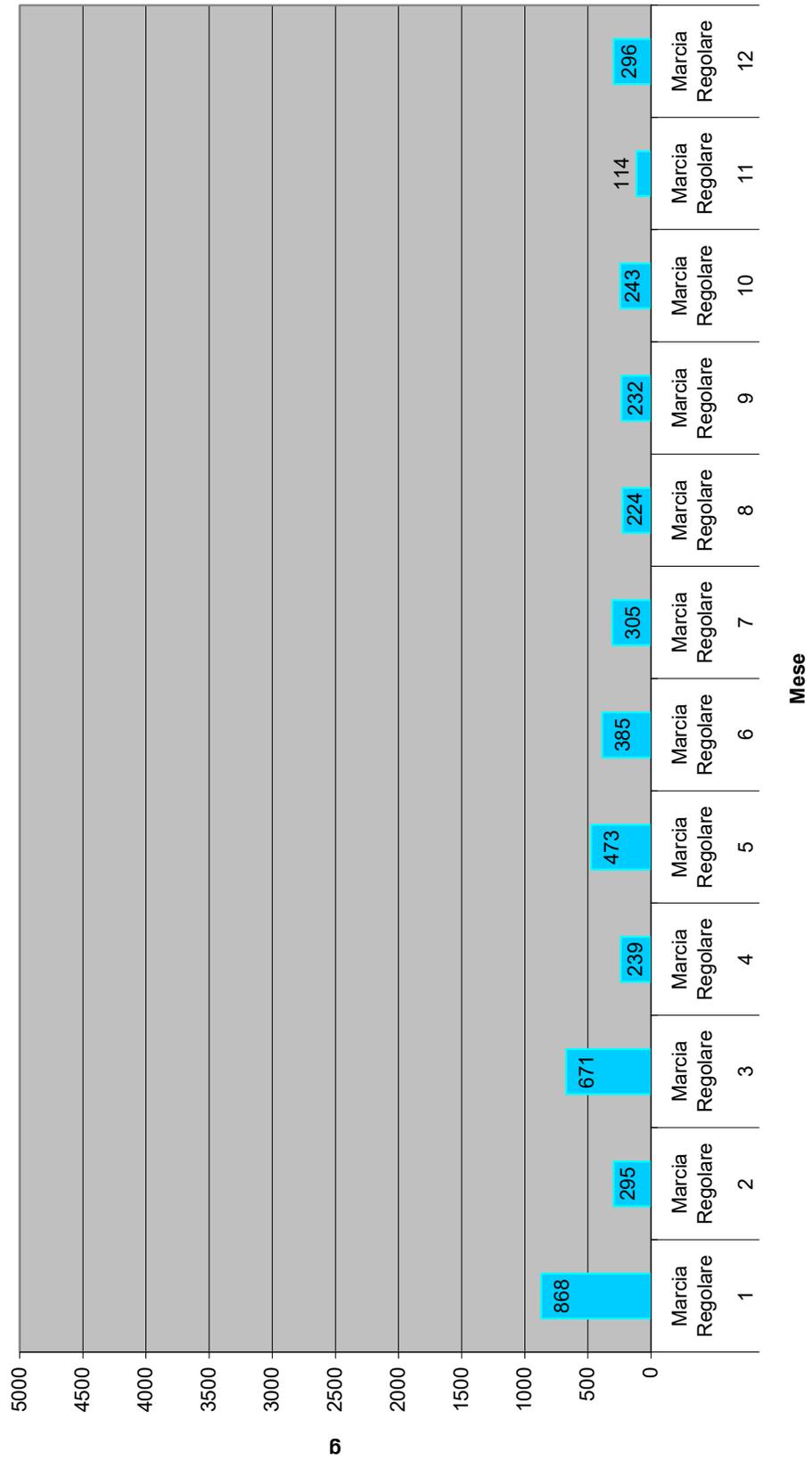
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2014 Linea 2



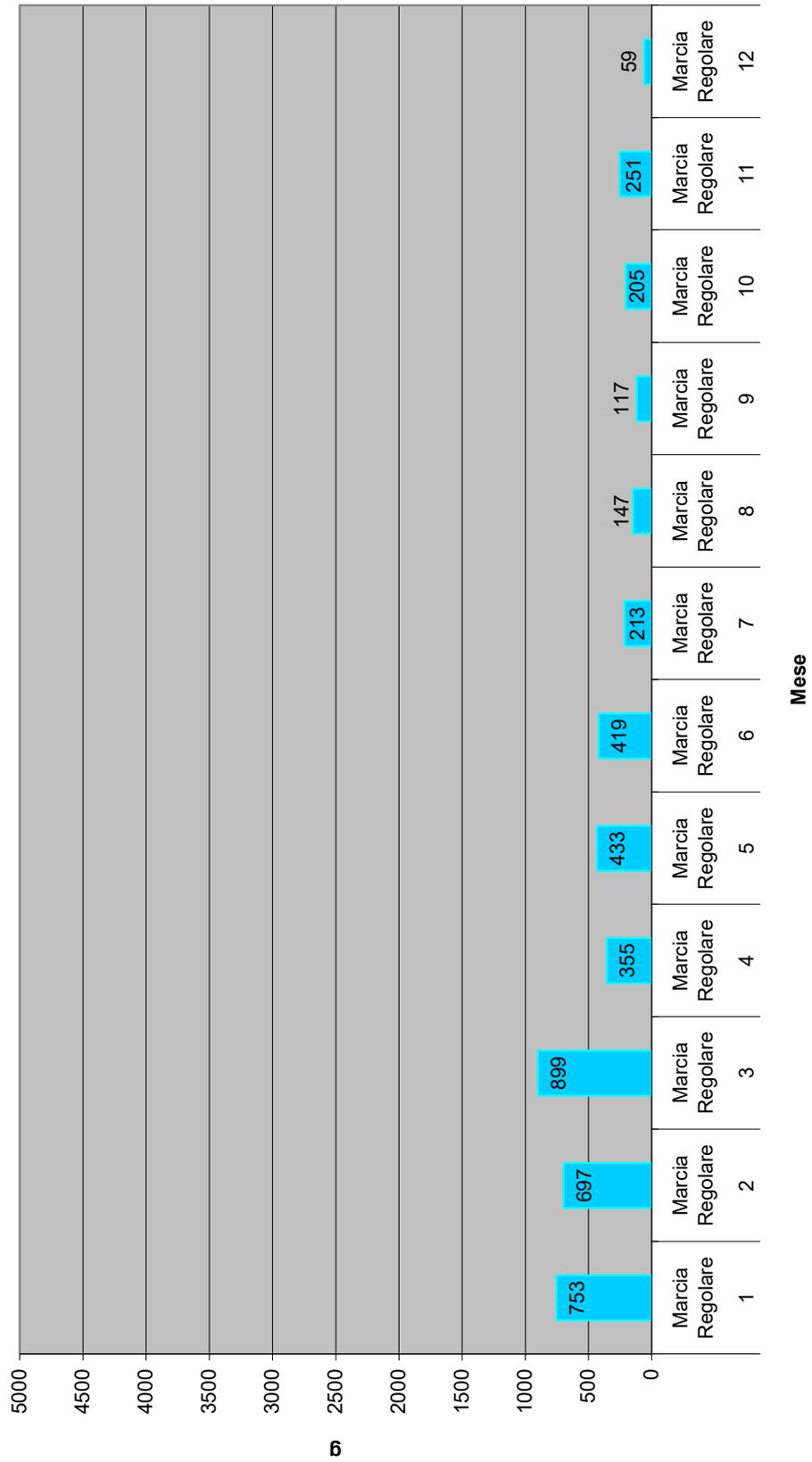
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2014 Linea 3



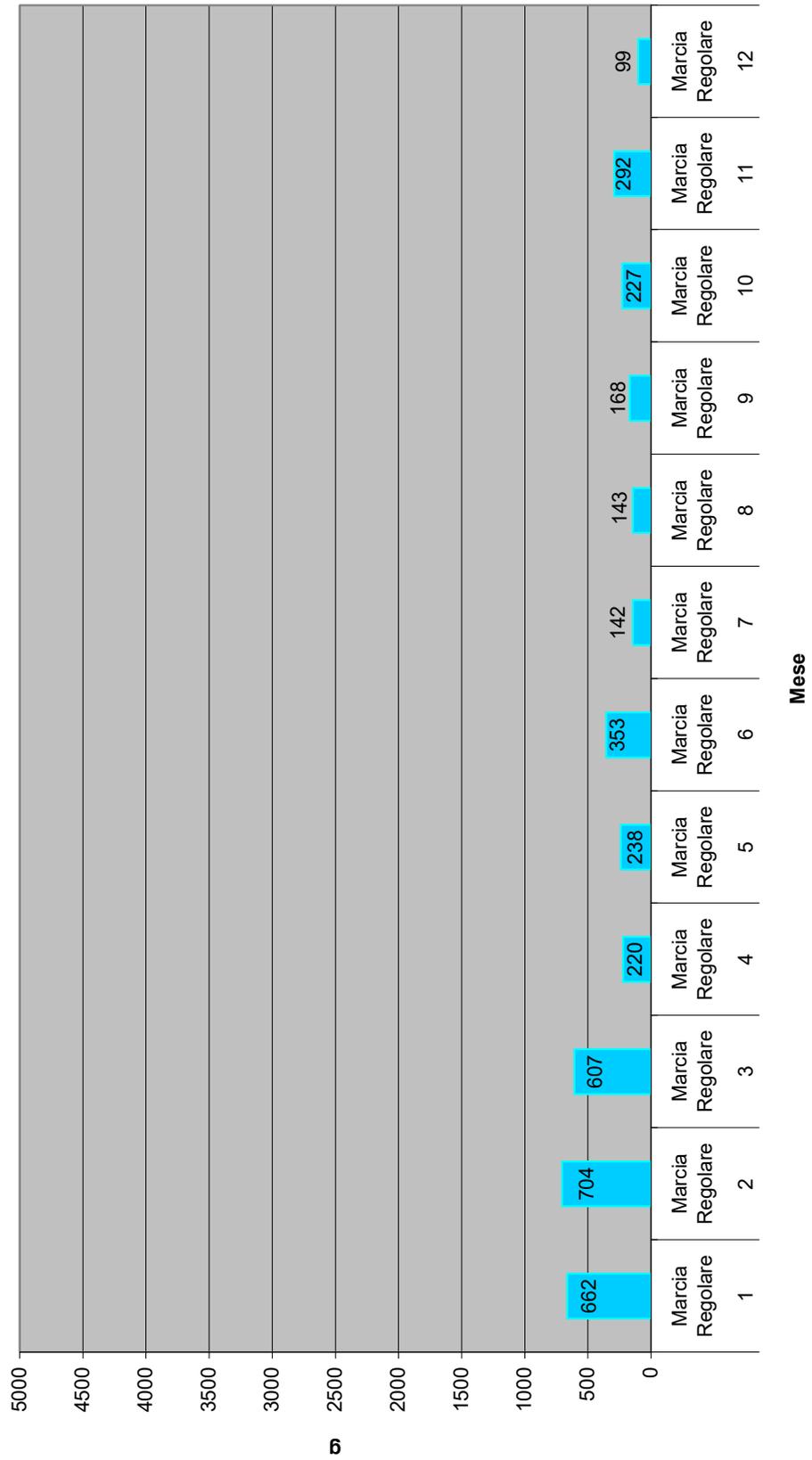
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2015 Linea 1



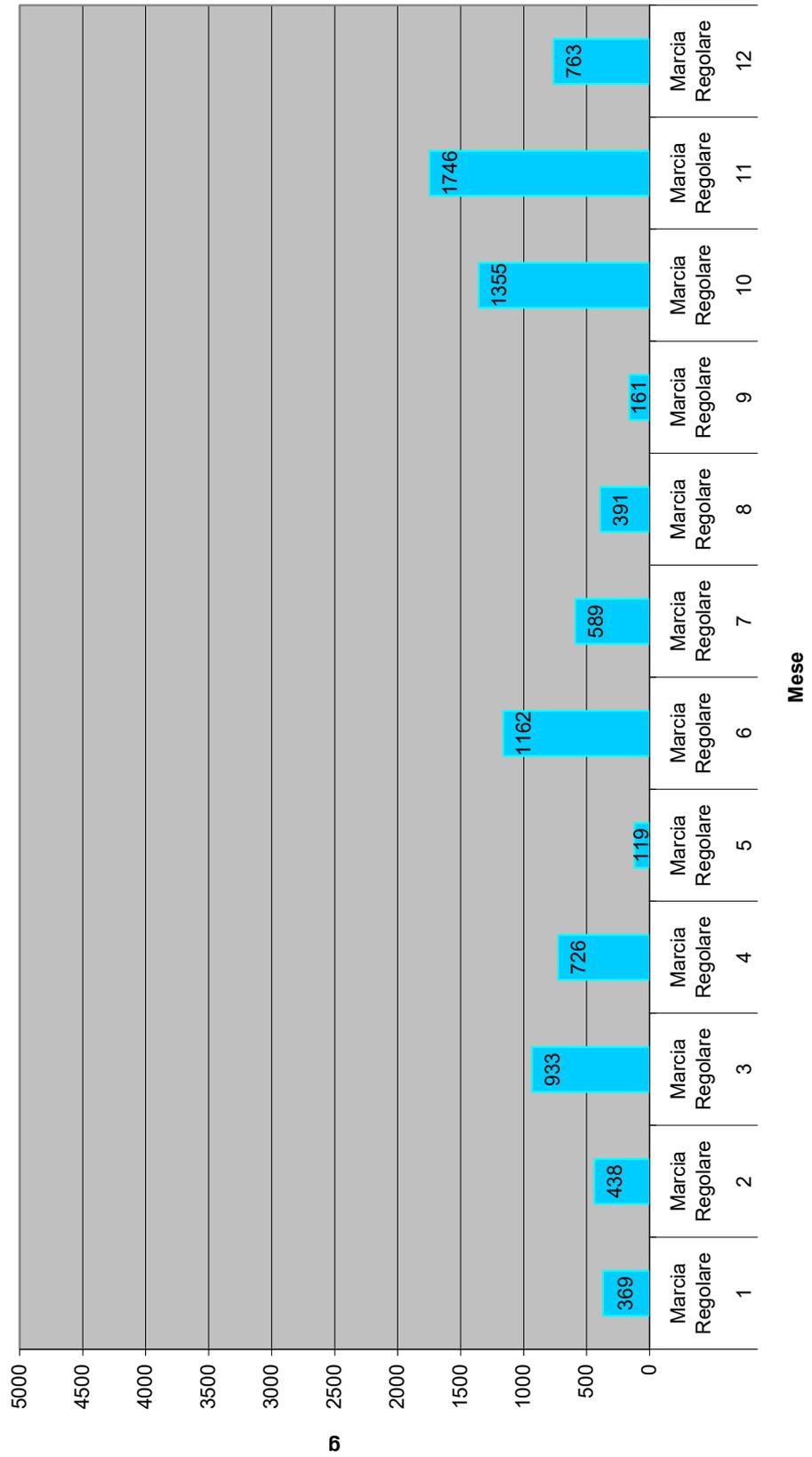
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2015 Linea 2



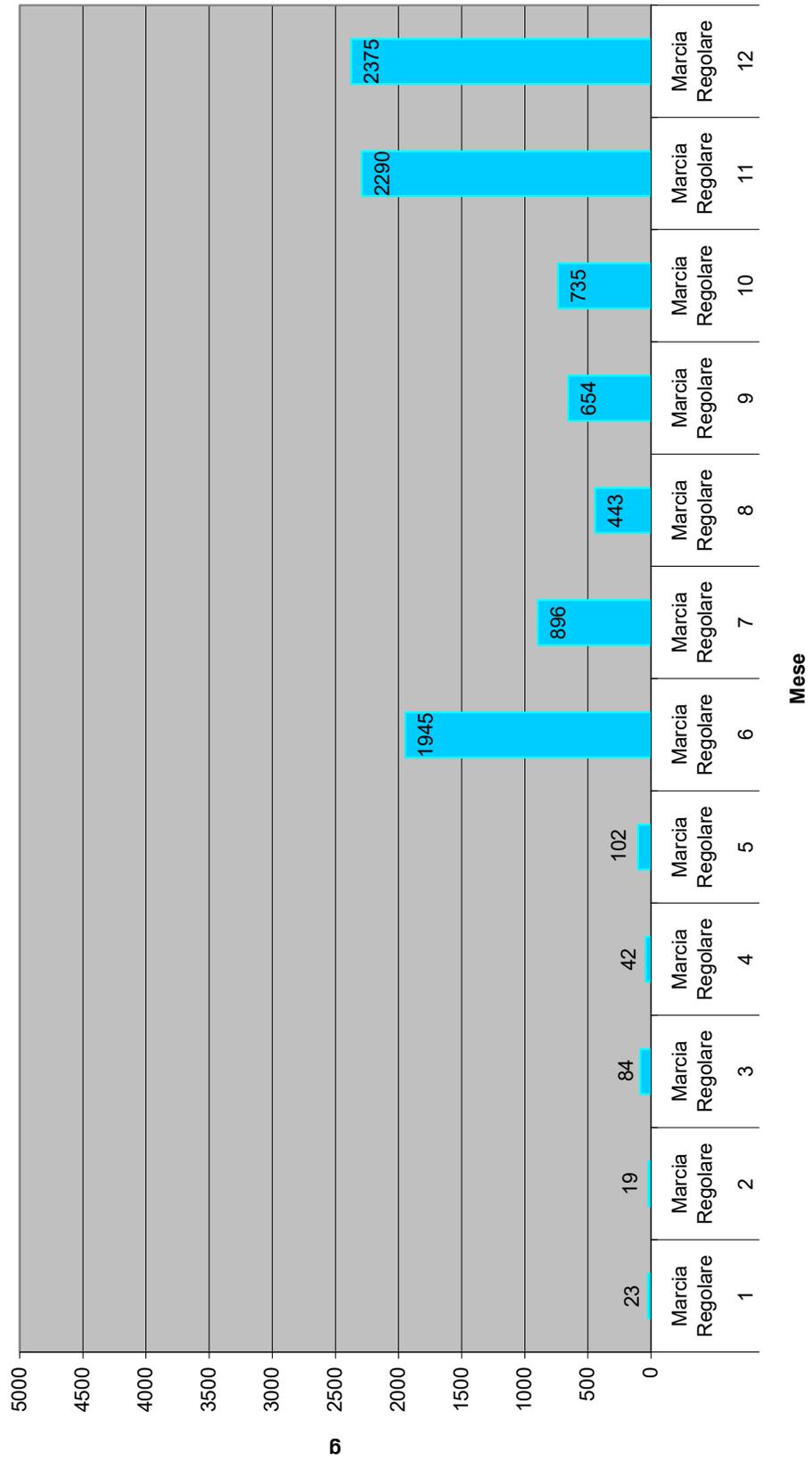
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2015 Linea 3



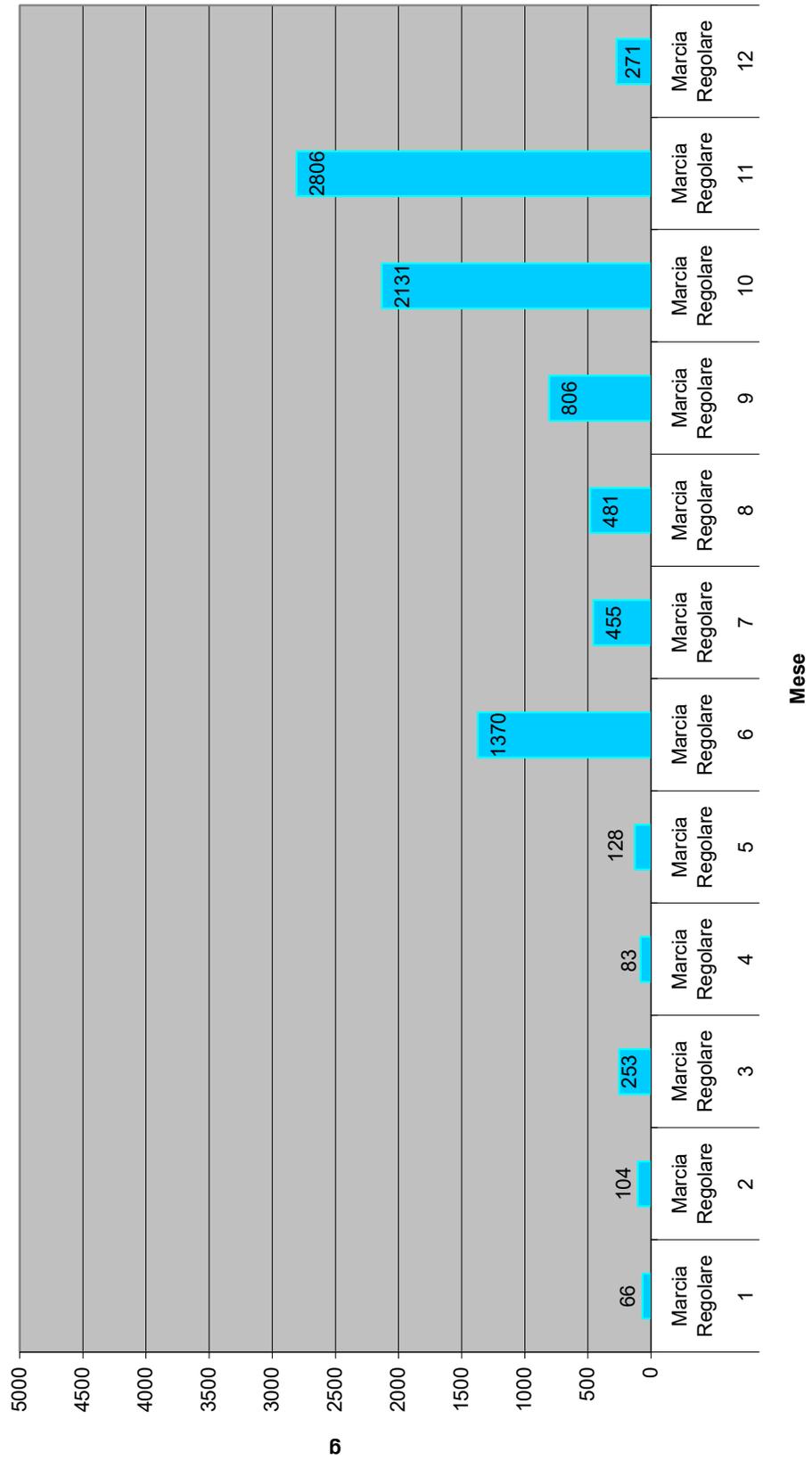
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2016 Linea 1



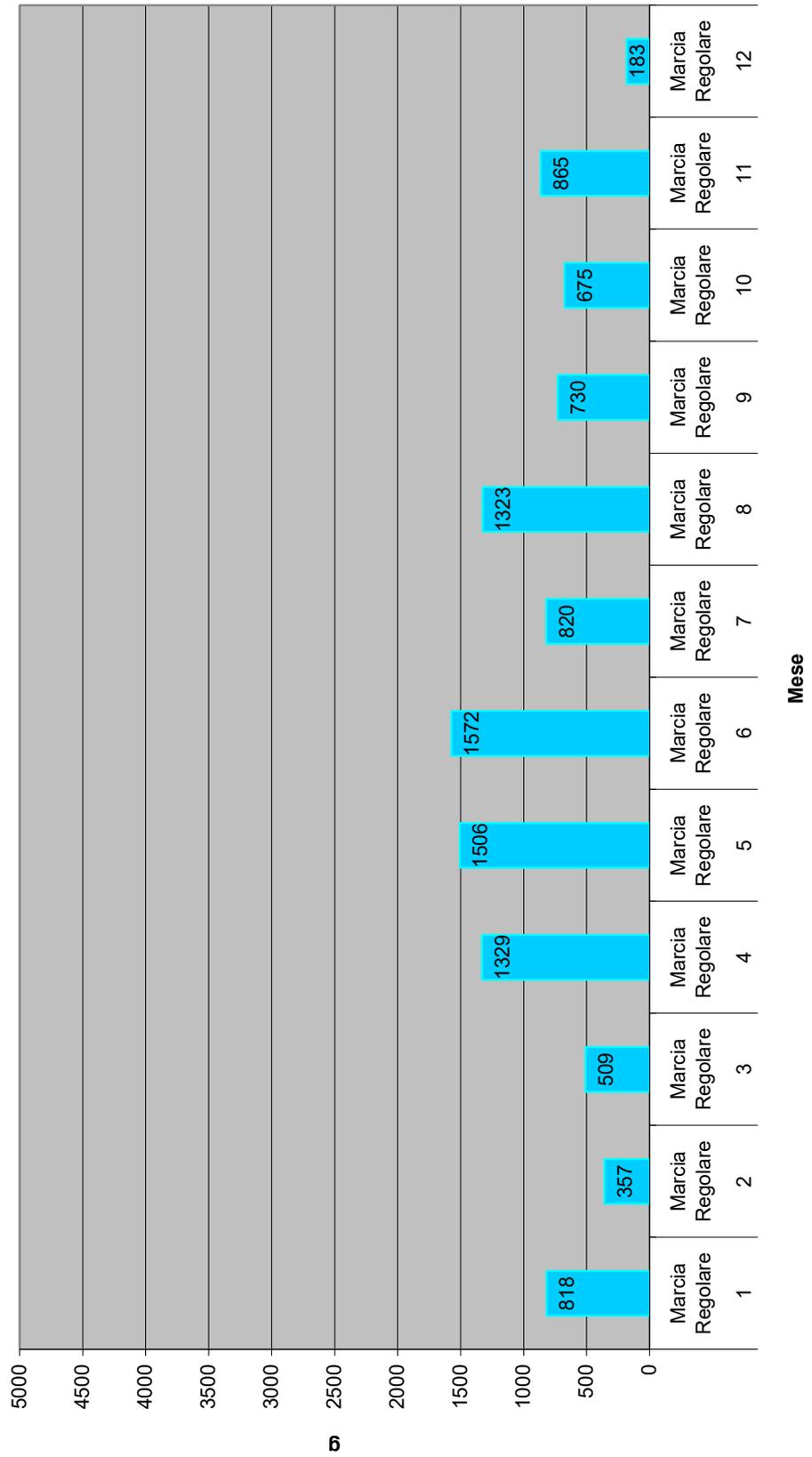
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2016 Linea 2



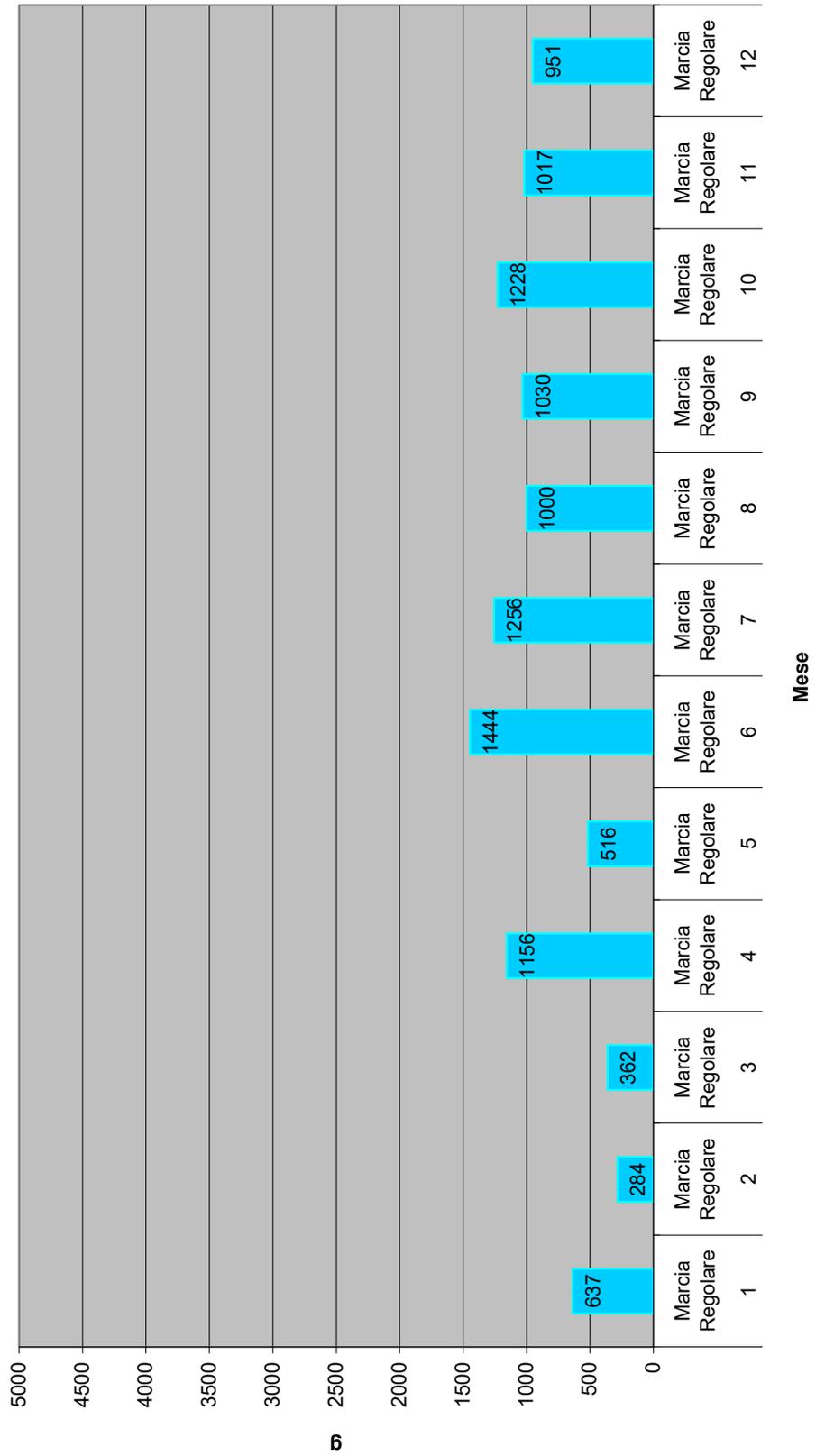
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2016 Linea 3



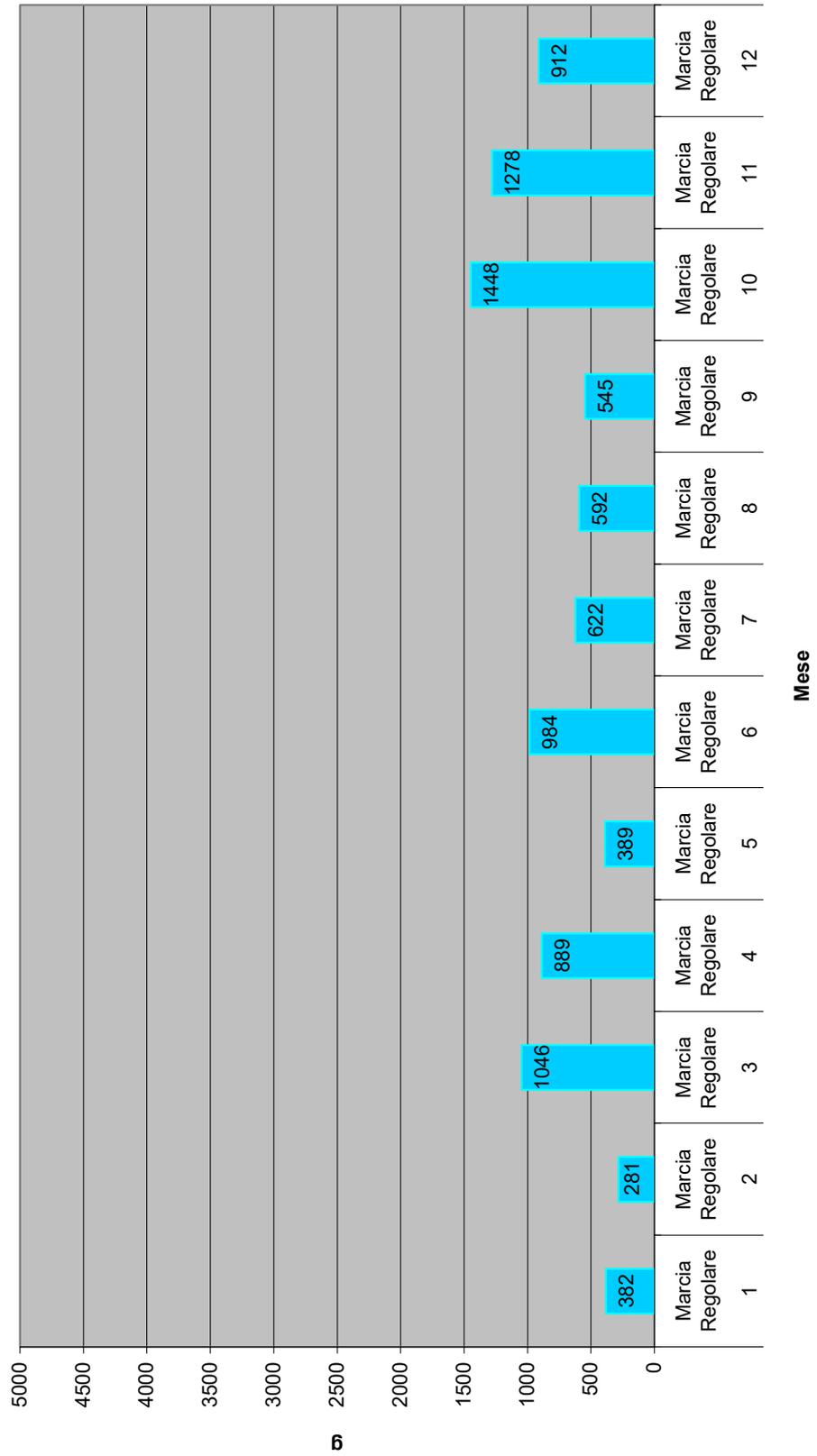
Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2017 Linea 1



Flusso di massa mensile di Hg<sub>cam</sub> 2017 Linea 2



Flusso di massa di Hg<sub>cam</sub> 2017 Linea 3



Ad oggi non esiste un limite di emissione fiscale inerente al flusso di massa, è però presente un limite autorizzato dalla Città Metropolitana di Torino nell'ambito del giudizio positivo di valutazione di impatto ambientale dell'impianto, pari 6,75 g/h per singola linea, quindi 59130 g/y mediamente pari a 4927,5 g/mese per la singola linea, che a titolo semplificato, in questo elaborato si è scelto di approssimare tale valore a 5000 g/mese.

Dagli istogrammi di cui sopra è immediato notare che l'impianto è ampiamente al di sotto di tale limite. Infatti il picco maggiore è stato registrato nel novembre 2016 per la linea 3 e risulta essere pari a 2806 g/mese, che è poco al di sopra della metà rispetto al limite autorizzato.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive inerenti al flusso di massa annuale totale.

Flusso di massa annuale totale					Limite annuale
2013	2014	2015	2016	2017	
1575	18729	12748	27312	27312	177390

**Tabella 3.1 - Flusso di massa annuale [g/anno] dell'impianto e relativo limite autorizzato dalla Città Metropolitana di Torino**

Come anticipato ad inizio capitolo si riportano ora il numero di semiore in cui si è registrato un superamento del limite di emissione a camino ed il numero di casi in cui l'impianto ha registrato un quantitativo di mercurio in caldaia  $\geq 700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  per più di un'ora.

Tali valori sono sempre stati ricavati dall'elaborazione dei dati SME. In particolare per il numero di superamenti semi-orari si sono considerati i dati SME annuali registrati dal misuratore a camino a partire dal 10/07/2013 fino al 31/12/2017. Mentre per il numero di superi  $\geq 700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , si sono considerati i dati SME registrati dal misuratore in caldaia, a partire dalla data della sua installazione per le singole linee fino al 31/12/2017.

Si riportano, quindi, nella pagina seguente le tabelle di tali valori.

<b>n° superi 2013</b>		
<i>Linea 1</i>	<i>Linea 2</i>	<i>Linea 3</i>
57	63	57

Tabella 3.2 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di 50 µg/Nm<sup>3</sup> nel 2013

<b>n° superi 2014</b>		
<i>Linea 1</i>	<i>Linea 2</i>	<i>Linea 3</i>
388	395	448

Tabella 3.3 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di 50 µg/Nm<sup>3</sup> nel 2014

<b>n° superi 2015</b>		
<i>Linea 1</i>	<i>Linea 2</i>	<i>Linea 3</i>
199	242	73

Tabella 3.4 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di 50 µg/Nm<sup>3</sup> nel 2015

<b>n° superi 2016</b>		
<i>Linea 1</i>	<i>Linea 2</i>	<i>Linea 3</i>
974	850	1197

Tabella 3.5 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di 50 µg/Nm<sup>3</sup> nel 2016

<b>n° superi 2017</b>					
<i>Linea 1</i>		<i>Linea 2</i>		<i>Linea 3</i>	
>50µg/Nm <sup>3</sup>	>700µg/Nm <sup>3</sup>	>50µg/Nm <sup>3</sup>	>700µg/Nm <sup>3</sup>	>50µg/Nm <sup>3</sup>	>700µg/Nm <sup>3</sup>
328	0	388	5	237	4

Tabella 3.6 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di 50 µg/Nm<sup>3</sup> e del valore limite di sovraccarico di 700 µg/Nm<sup>3</sup> per più di un'ora nel 2017

I dati riportati nella Tabella 3.6 sono indicativi del fatto che l'impianto per 5 volte nella linea 2 e per 4 volte nella linea del 2017, primo anno in cui è possibile disporre di tale dato, ha subito un quantitativo di mercurio nei fumi della caldaia superiore al limite potenzialmente trattabile dall'impianto stesso. Si ricorda infatti che l'impianto può sopportare le condizioni di sovraccarico, il che significa che può accettare, in ingresso all'impianto di abbattimento dei fumi, una quantità di Hg > di 700 µg/Nm<sup>3</sup> per un massimo di un'ora consecutiva. Oltre tale durata l'impianto non è più potenzialmente idoneo a trattare un tale ammontare di mercurio.

Dopo l'analisi dei dati SME al fine di mostrare un andamento dei superamenti fiscali del limite di emissione, si riporta ora nella pagina seguente la tabella dei quantitativi di mercurio ricavati dai controlli fiscali fatti eseguire da un laboratorio incaricato da TRM.

<b>Controlli fiscali del mercurio espressi in <math>\mu\text{g}/\text{Nm}^3</math></b>			
<i>Data</i>	<i>Linea 1</i>	<i>Linea 2</i>	<i>Linea 3</i>
06/11/2013	<6		
05/12/2013		<7	
08/01/2014	<7		
10/01/2014		<7	
14/01/2014			<7
04/11/2014	4,8		
18/11/2014		0,9	
09/10/2014			<6
24/03/2014		<6	
26/03/2014			<6
03/04/2014	<6		
12/06/2014		<6	
16/06/2014	<5		
18/06/2014			<6
04/02/2015			12
03/03/2015	8,7		
04/03/2015		2	
04/06/2015			1
07/07/2015	1		
14/07/2015		2,9	
13/10/2015			1,6
05/11/2015	1,1	2	
09/02/2016			2,2
22/03/2016		1,6	
23/03/2016	10,1		
13/06/2016			2
11/07/2016	3,1		
14/07/2016		10,5	
10/10/2016			10,5
08/11/2016		23,2	
10/11/2016			32,1
23/12/2016	2,2		
06/02/2017			1,1
06/03/2017		1,2	
08/03/2017	2		
08/06/2017			0,2
03/07/2017		0,7	
10/07/2017	3,3		
09/10/2017			10,6
06/11/2017		2,6	
07/11/2017	3,1		

**Tabella 3.7 - Campionamenti di mercurio eseguiti per controlli fiscali**

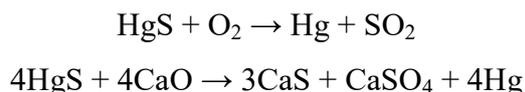
Come si evince dai valori presenti nella Tabella 3.7, i campionamenti eseguiti al fine di controllare in modo fiscale le emissioni di mercurio dell'impianto non hanno mai registrato effettivi superamenti del limite.

### 3.2.2 Analisi di speciazione del mercurio

Il mercurio è il metallo con il più basso punto di fusione (-38,87 °C) e a temperatura ambiente si presenta come liquido argenteo con notevole lucentezza metallica.

La sua pressione di vapore è inferiore a quella dei liquidi, ma è notevolmente più elevata di quella di qualsiasi altro metallo. Il vapore, come quello dei metalli in genere, è formato da mercurio elementare volatilizzato, è velenosissimo e si deve pertanto evitare di rimanere a lungo in presenza di mercurio libero nell'ambiente.

Il mercurio nella crosta terrestre si trova raramente come metallo nativo e più spesso nel cinabro, nella corderite, nella livingstonite e in altri minerali. Il cinabro (o solfuro mercurico, HgS) è il più comune di essi. La preparazione del mercurio ha luogo per riscaldamento dei suoi solfuri, in corrente d'aria (per riscaldamento a circa 700 °C) o in presenza di calce fuori dal contatto con aria (a circa 650 °C), secondo le reazioni:



Il mercurio si combina con molti altri metalli, in particolare con oro, argento, zinco, stagno e metalli alcalini, meno facilmente con rame e arsenico; combinandosi, il mercurio porta alla formazione di leghe dette amalgame, liquide solamente se il mercurio è presente in grande eccesso rispetto agli altri elementi. Non si ha formazione di amalgame con ferro, nichel e cobalto, ed è per questo motivo che il mercurio viene trasportato e conservato in recipienti di ferro. La formazione di amalgame comporta a volte assorbimento di calore, come nel caso dello stagno, mentre i metalli alcalini reagiscono vivacemente generando un forte sviluppo di calore.

Per la resistenza all'ossidazione, per la densità abbastanza elevata e l'espansione uniforme al variare della temperatura, il mercurio riveste grande importanza per la costruzione di apparecchi elettronici.

Inoltre non viene intaccato dagli acidi cloridrico e solforico diluiti a temperatura ordinaria. Con gli alogeni e lo zolfo, la reazione è invece istantanea: lo zolfo giallo che talvolta si vede sparso sul pavimento di un laboratorio dove sia stato versato

accidentalmente del mercurio ha lo scopo di trasformare quest'ultimo in cinabro onde evitare lo sprigionarsi di vapori dannosi.

Dato l'alto valore del suo potenziale di riduzione, il mercurio a temperatura ambiente si comporta quasi come un metallo nobile, risultando inattaccabile da parte di acidi non ossidanti, alcali, ossigeno, azoto, idrogeno, fosforo, carbonio, ammoniaca, acido fluoridrico e acido cloridrico. È invece sensibile all'acido nitrico, bromidrico e iodidrico anidri, agli alogeni e all'ozono.

Il mercurio può formare composti sia inorganici che organici. Per quanto riguarda i composti inorganici, un'altra particolarità del mercurio è che, a differenza degli altri elementi del gruppo chimico a cui appartiene, esso appare anche nello stato di ossidazione +1 (composti mercuriosi), oltre che nello stato +2 (composti mercurici). Inoltre, in tutti i composti mercuriosi, non esiste lo ione  $\text{Hg}^+$ , ma è presente lo ione dimero  $\text{Hg}_2^{2+}$ , in cui due atomi di mercurio sono uniti da un legame covalente metallo-metallo. I composti mercurici vengono comunemente indicati con l'abbreviazione  $\text{Hg(II)}$ , mentre i composti mercuriosi vengono indicati con  $\text{Hg(I)}$ , in ragione del loro stato di ossidazione.

I composti  $\text{Hg(I)}$  hanno una bassissima tendenza a formare composti la cui solubilità è generalmente bassa e che tendono a disproporzionarsi. I composti  $\text{Hg(I)}$  sono di tipo ionico, mentre i derivati di  $\text{Hg(II)}$ , ad eccezione dei sali con gli acidi forti ossigenati (nitrato, clorato, perclorato), hanno natura prevalentemente o completamente covalente. Questi composti volatilizzano facilmente col calore, spesso si decompongono liberando mercurio, si riducono facilmente a composti mercuriosi e a mercurio elementare, inoltre tendono a idrolizzarsi in soluzione acquosa e talora si sciolgono solo in presenza di un eccesso di acido.

Il composto inorganico principale del mercurio in chimica è il cloruro mercurioso o calomelano  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ , sostanza bianca insolubile nell'acqua e alterabile alla luce. Se esposto alla luce, infatti, il calomelano dà origine al cloruro mercurico  $\text{HgCl}_2$ , con la perdita di un atomo di mercurio (Young, 2002). Il cloruro mercurico (sublimato corrosivo) si presenta in cristalli bianchi solubili nell'acqua e velenosissimi; viene impiegato come antisettico, per preparare derivati mercurici, in elettricità e per conservare il legno (Young, 2004).

Il solfuro mercurico  $\text{HgS}$  esiste in due forme, la rossa, con molecola a struttura trigonale (cinabro), e la nera, con molecola a struttura cubica, la quale è ottenibile per azione di solfuro di idrogeno gassoso su una soluzione acquosa acida di  $\text{HgCl}_2$ . È

insolubile in acqua e nella maggior parte degli acidi (a eccezione di acido bromidrico e acido iodidrico) e viene spesso usata come pigmento per pitture.

Il solfato mercurico  $\text{HgSO}_4$  si può ottenere da una reazione ad alte temperature con mercurio metallico e acido solforico concentrato (Health Protection Agency, 2007). È un sale poco solubile in acqua, nella quale si idrolizza facilmente. Oltre i  $600^\circ\text{C}$  si decompone completamente in mercurio, ossigeno, diossido di zolfo e triossido di zolfo. Riducendo il solfato mercurico con diossido di zolfo o mercurio, è possibile ottenere il solfato mercurioso ( $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ ), che ha applicazioni come componente delle pile standard di tipo Clark e Weston.

Tra gli ossidi, l'unico composto noto è l'ossido mercurico ( $\text{HgO}$ ), solido di colore giallo o rosso notevolmente reattivo: al di sopra di  $500^\circ\text{C}$  si decompone nuovamente negli elementi mercurio e ossigeno, ed è in grado di ossidare molte sostanze riducenti (idrogeno, diossido di zolfo, formaldeide) con formazione di mercurio metallico. Con perossido di idrogeno forma il perossido di mercurio ( $\text{HgO}_2$ ), di colore rosso, esplosivo. L'ossido ha applicazioni come fungicida, come componente di vernici navali, e in alcuni tipi di pile a secco.

I composti organici del mercurio si raggruppano invece in due categorie: i composti alchilmercuriali (contenenti metilmercurio  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , etilmercurio  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$ ) e i composti arilmercuriali (contenenti fenilmercurio  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Hg}^+$ ). Il catione di maggior interesse è senz'altro il catione monometilmercurio. Esso proviene in gran parte, anche se non esclusivamente, dalla metilazione di mercurio inorganico nei sedimenti del fondo di ambienti lacustri, paludosi e marini (ed eventualmente anche nella fase acquosa dei suoli). Il catione monometilmercurio dà origine a una vasta gamma di composti, poiché può combinarsi a formare specie sia ioniche, del tipo  $\text{CH}_3\text{HgX}$ , sia neutre, tra cui il dimetilmercurio  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  e il dietilmercurio  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Hg}$ , queste ultime le forme in assoluto più tossiche per gli organismi.

In Tabella 3.8 sono riassunte alcune proprietà fisiche dei principali composti contenenti mercurio e rintracciabili in ambiente: il peso molecolare (PM), punto di fusione (PF), punto di ebollizione (PE), densità (D), solubilità in acqua (S), pressione di vapore a  $25^\circ\text{C}$  e 101.325 Pa di pressione atmosferica (PV).

Composto	PM	PF °C	PE °C	D g/cm <sup>3</sup>	S g/ml	PV Pa
Hg <sup>0</sup>	200,59	-38,9	356,7	13,5	5,60E-08	267
HgCl <sub>2</sub>	271,52	277	302	5,38	7,40E-02	13332
Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	324,66			4,3		
HgSO <sub>4</sub>	296,68			6,47		
HgO (rosso)	216,61	400-500	500	11,14	5,13E-05	
HgO (giallo)	216,61	400-500	500	11,14	5,18E-05	
HgS (rosso)	232,68	386		8	1,30E-08	
HgS (nero)	232,68				insol.	
CH <sub>3</sub> HgCl	251,08	170			<1,00E-02	
CH <sub>3</sub> HgOH	236,64	137			1÷10E-03	
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Hg	230,66	-43	94	2,96	insol.	
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	472,09	400		7,15	2,00E-06	
Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	525,19	70		4,78		
Hg <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> )	497,29			7,56	6,00E-04	

**Tabella 3.8 - Proprietà fisiche dei principali composti contenenti mercurio. “insol.” indica l’insolubilità o la quasi totale insolubilità. Gli spazi bianche indicano mancanza di dati disponibili (Davis, Bloom & Que Hee, 1997; Patnaik, 2007)**

Dalla lettura dei dati in Tabella 3.8, possiamo notare che gli unici due composti del mercurio dotati di un’apprezzabile volatilità sono il mercurio elementare Hg<sup>0</sup> e il cloruro mercurico HgCl<sub>2</sub>. Un terzo composto molto volatile è il dimetilmercurio (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Hg, benché il dato di pressione di vapore non sia indicato. Tuttavia, quest’ultimo è il composto di gran lunga più volatile tra le specie di mercurio diffuse in ambiente (Sommar et al., 1999).

Il composto più solubile in acqua è il cloruro mercurico HgCl<sub>2</sub>. Anche i composti ionici alchilmercuriali sono dotati di un’apprezzabile solubilità in acqua, mentre il dimetilmercurio è insolubile in acqua, ma è solubile in etere e alcoli (Patnaik, 2007).

In generale, la tendenza in ambiente delle specie organiche ioniche del tipo CH<sub>3</sub>HgX è quella di rimanere disciolte nel comparto acquoso, mentre le specie neutre (ad esempio (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Hg o (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>Hg) tendono a volatilizzare in modo relativamente rapido, a meno che non vengano trasformate nelle specie monometiliche. Tuttavia, molte specie organiche del mercurio sono solubili nei

tessuti biologici, poiché a seconda del gruppo anionico X associato possono essere contraddistinte da un'accentuata liposolubilità (Sommar et al., 1999).

Il cinabro HgS e l'ossido mercurico HgO invece non sono volatili e hanno una solubilità bassissima, se non nulla. Queste proprietà conferiscono loro caratteristiche di scarsa reattività in ambiente.

Il mercurio e i suoi composti, se dispersi in ambiente, sono soggetti a speciazione chimica. L'analisi della speciazione è un punto critico nella determinazione della mobilità, reattività e potenziale biodisponibilità del mercurio e dei suoi composti. Essa dipende da un ampio spettro di variabili fisiche, geologiche e antropogeniche. Il complesso delle interazioni del mercurio con l'ambiente va a costituire il ciclo del mercurio, che si realizza in modalità differenti per ciascun comparto.

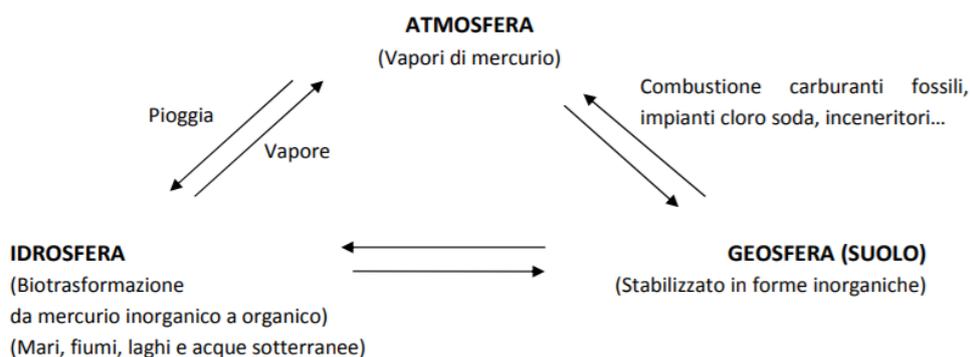
### 3.2.2.1 Il ciclo del mercurio

Il mercurio è un metallo che si presenta naturalmente negli ecosistemi. Esso entra nell'ambiente come risultato della naturale rottura dei minerali in rocce e del terreno attraverso esposizione a vento e ad acqua. Il rilascio di mercurio da sorgenti naturali è rimasto più o meno lo stesso nel corso dei secoli. I livelli di mercurio totale si situano generalmente sotto i 10 ng/g in rocce e minerali non mercuriferi, come ad esempio granito o feldspati, mentre i livelli in suoli e sedimenti non mercuriferi in aree non direttamente soggette ad impatti antropogenici o emissioni vulcaniche oscillano tra i 50 e i 200 ng/g, con un incremento in vicinanza di aree urbanizzate (Rodrigues et al., 2006).

Questi livelli di mercurio in ambiente superano di 3-5 volte i livelli dell'età preindustriale, e il legame tra attività antropica e concentrazioni di mercurio nell'ambiente è acclarato. Negli ultimi 300 anni, attraverso le deposizioni e il trasporto globale di mercurio di origine antropogenica, le concentrazioni dell'inquinante sono aumentate anche in zone distanti dalle fonti di emissione, sia naturali sia antropogeniche. Più del 98% di mercurio nel suolo è presente nella forma inorganica Hg<sup>2+</sup>, associato ai composti più vari (Davis, Bloom & Que Hee, 1997).

La diffusione del mercurio è governata da un complesso ciclo di carattere globale e transfrontaliero, che coinvolge tutti i comparti naturali, ovvero l'atmosfera, l'idrosfera e la geosfera (Figura 3.1 a pagina seguente). Dato che una quota delle

emissioni di mercurio in ambiente è di origine naturale, il mercurio presenta un livello di background in ambiente indipendente dalle emissioni provocate dall'uomo. L'attività antropogenica ha tuttavia introdotto un grosso elemento di squilibrio nel ciclo globale del mercurio, rappresentato principalmente dalla combustione di carburanti fossili, che ha causato un aumento delle concentrazioni di background anche in suoli incontaminati.



**Figura 3.1 - Schema del ciclo del mercurio in ambiente**

Si stima che circa i due terzi del mercurio presente in ambiente sia stato prodotto durante il ventesimo secolo, e che il carico di mercurio immesso attualmente sia aumentato di circa 3 volte rispetto agli inizi del 1900. Il comparto ambientale certamente più coinvolto dalle emissioni di mercurio è quello atmosferico, da cui poi l'elemento si diffonde anche negli altri comparti (Fitzgerald & Clarkson, 1991).

La sorgente antropogenica più rilevante di mercurio in atmosfera è costituita dalle emissioni di impianti termoelettrici alimentati a carbone. Altre importanti sorgenti sono rappresentate dai processi di produzione di vari metalli (rame, piombo, zinco, lo stesso mercurio), dai cementifici, dagli impianti cloro-soda, dall'estrazione artigianale o su piccola scala di oro e dal non corretto smaltimento di rifiuti contenenti mercurio (ad esempio batterie, strumenti di misura e controllo, strumenti elettrici e dispositivi per illuminazione), che possono essere inviati in discarica o ai termovalorizzatori (Fitzgerald & Clarkson, 1991; Mlakar et al., 2010; Pacyna et al., 2010).

Il legame tra emissioni di mercurio da combustione antropogenica e fonti industriali e le concentrazioni di mercurio presenti in aria, atmosfera, suoli e sedimenti è governato da molte variabili, tra cui le più importanti sono:

- Le specie di mercurio emesse dalle sorgenti;

- L'ammontare complessivo di mercurio emesso dalla combustione antropica;
- Le condizioni atmosferiche e climatiche;
- La capacità di riduzione dei suoli e dei corpi idrici;
- Il tasso di erosione nei bacini idrografici;
- La deposizione secca e umida.

Le emissioni di mercurio, siano esse naturali o antropogeniche, avvengono principalmente in atmosfera. Le emissioni naturali di mercurio gassoso (volatilizzazione da suoli o corpi idrici) sono costituite interamente da mercurio elementare  $Hg^0$ . Le emissioni antropogeniche gassose hanno invece sia una componente di mercurio elementare sia una componente aggiuntiva, costituita da mercurio adsorbito su particolato (TPM, Total Particulate Mercury) o da forme del mercurio con caratteristiche di volatilità e reattività diverse, prevalentemente divalenti (Rinklebe et al., 2009). Quest'ultima componente è denominata mercurio gassoso reattivo (RGM, reactive gaseous mercury) ed è costituita soprattutto da  $HgCl_2$  (Gibicar et al., 2009). Mentre il mercurio elementare entra facilmente a far parte del ciclo transfrontaliero, il RGM e il TPM sono maggiormente soggetti a deposizione locale o regionale, provocando un innalzamento dei livelli di mercurio in siti prossimi a importanti sorgenti di emissione.

La maggioranza del mercurio in atmosfera è dunque presente come mercurio elementare, generalmente in percentuale maggiore del 90% rispetto alle altre forme di mercurio volatili o su particolato (Fitzgerald & Clarkson, 1991; Zhang et al., 2009; Rinkeble et al., 2009).

Questo è dovuto sia al suo maggior tempo di residenza, sia al fatto che essa è la principale forma di mercurio emessa dalle fonti di inquinamento atmosferico. Tuttavia, la combustione di carbon fossile, la principale sorgente di mercurio in atmosfera, genera anche l'emissione di vari composti mercurici  $Hg(II)$ , come  $HgCl_2$ ,  $HgS$ ,  $HgO$  e  $HgSO_4$ . Tali composti entrano nel comparto atmosferico adsorbiti sulle ceneri rilasciate dagli impianti a carbone, e si depositano successivamente sui suoli o sulla superficie oceanica (LopezAnton et al., 2010). Per questo motivo, sopra gli oceani la percentuale di  $Hg^0$  in atmosfera è sempre maggiore del 99%, mentre sulle terre emerse la percentuale oscilla tra il 90% e il 100%, con tendenza a diminuire

vicino alle zone urbanizzate (Fitzgerald & Clarkosn, 1991; Environment Agency, 2009).

Il tempo di residenza medio in troposfera del mercurio gassoso totale (approssimato alla sola forma elementare  $Hg^0$ ) è di circa 1 anno. Questo tempo di residenza relativamente lungo permette al mercurio in atmosfera di percorrere lunghe distanze sfruttando le correnti dominanti. Il mercurio viene trasportato o direttamente nella sua forma gassosa, oppure attaccandosi al pulviscolo atmosferico. È stato dimostrato che il mercurio in atmosfera può percorrere sino a 2500 km in 72 ore (Gibicar et al., 2009). La possibilità di permanere a lungo in atmosfera, in aggiunta alla già citata capacità di diffusione in tutti i comparti, spiegano il carattere transfrontaliero dell'inquinamento da mercurio nel mondo.

Nonostante il lungo tempo di residenza, il mercurio elementare in atmosfera possiede comunque una certa reattività, e nel lungo periodo subisce fenomeni di trasformazione, in particolare di ossidazione a forme inorganiche divalenti. Il tempo di residenza dei composti del mercurio ossidati è molto minore rispetto a quello del mercurio elementare (solo di alcuni giorni; Ray & Selvakumar, 2007), e quindi in tali forme il mercurio subisce fenomeni di deposizione, sia di tipo secco sia di tipo umido. I modelli di deposizione atmosferica del mercurio, uniti ai dati raccolti sul campo, mostrano che in località caratterizzate da clima umido si ha un maggior tasso di deposizione rispetto a località caratterizzate da un clima più arido. Le variabili principali che influenzano questo fenomeno sono sia l'erosione di mercurio elementare e divalente dai suoli, sia l'ammontare delle precipitazioni. Le precipitazioni rimuovono varie forme di mercurio dall'atmosfera e sono la principale causa di deposizione dell'inquinante sulla superficie terrestre (Vol. III, US EPA, 1997; Ray & Selvakumar, 2007).

Il metilmercurio può essere rintracciato invece, in piccole concentrazioni, nelle precipitazioni, in ragione della sua maggior solubilità rispetto al mercurio elementare. L'origine di queste piccole quantità di metilmercurio presente nelle precipitazioni è però tuttora incerta. Le concentrazioni di mercurio totale nelle precipitazioni sono tipicamente più alte rispetto a quelle riscontrabili nelle acque di superficie. Questo fatto è motivato dall'efficacia delle gocce di pioggia nell'assorbire per intercettazione forme di  $Hg(II)$  su particolato atmosferico, nonché dal loro potenziale di ossidazione di  $Hg^0$  in  $Hg(II)$  (Vol. III, US EPA, 1997).

Nello studio sul mercurio dell'EPA (1997), è stato stimato che l'efficienza di deposizione del mercurio emesso dagli Stati Uniti sullo stesso territorio nazionale è la seguente:

- 1% per il mercurio elementare allo stato gassoso;
- 70% per le specie inorganiche divalenti allo stato gassoso;
- 38% per le forme di mercurio presenti su particolato atmosferico.

Le restanti percentuali non si depositano entro i confini americani e vanno a contaminare i territori degli stati confinanti, oppure si diffondono verticalmente negli strati alti dell'atmosfera ed entrano a far parte del ciclo globale del mercurio.

Per quanto riguarda il ciclo del mercurio nel comparto acque, il bilancio tra gli ingressi e le uscite è governato da una parte dalle deposizioni atmosferiche, siano esse secche o umide, dall'altra dalla biogeochimica marina, che comprende reazioni di rimozione come la trasformazione di composti del mercurio solubili in forme volatili che ritornano in atmosfera, oppure in altri composti allo stato solido (particolato) che precipitano sul fondo. La sede principale di questi scambi tra atmosfera e idrosfera è l'interfaccia aria/acqua degli oceani.

È importante sottolineare che il principale contributo delle attività antropiche all'inquinamento del comparto acque non deriva da emissioni di residui di mercurio nel sistema idrico terrestre, ma dallo scambio all'interfaccia aria/acqua degli oceani. Con questo presupposto, è immediato capire come le fonti di emissione atmosferica siano quelle a maggior impatto ambientale, anche per il comparto acque (Fitzgerald & Clarkson, 1991).

La concentrazione di mercurio nei suoli è ampiamente variabile, e dipende dalla distanza delle sorgenti di emissione e dalla geologia locale. Oltre alle fonti di inquinamento locale, i livelli di mercurio nel suolo dipendono dal tipo di rocce presenti, dal pH del suolo, dalla capacità di scambio cationico, dalla presenza di acqua e da come si muove nel suolo, da processi biologici e di erosione (Pirrone et al., 2001). Le forme di mercurio più diffuse nei suoli e nei sedimenti si possono classificare in base alla loro mobilità, distinguendo inoltre tra forme inorganiche e organiche (Kingston et al., 2003), nel modo seguente:

- Composti alchilmercuriali: i cationi organometallici  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  (metilmercurio) o  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Hg}^+$  (etilmercurio) si combinano con vari donatori

di elettroni a dare composti molto tossici e dall'elevata mobilità, quali ad esempio  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ,  $\text{CH}_3\text{HgCl}$ ,  $\text{CH}_3\text{HgOH}$ ,  $\text{Hg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ .

- Mercurio inorganico solubile: si tratta di sali perlopiù mercurici, come ad esempio  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{HgSO}_4$ ,  $\text{HgO}$  (adsorbito) e  $\text{Hg}^{2+}$  associato ad acidi organici del suolo.
- Mercurio “semi-mobile”: comprende composti organometallici, mercurici o mercuriosi, con gli atomi di mercurio uniti da legami covalenti; si tratta principalmente di complessi di  $\text{Hg}^{2+}$  legato ad atomi di S in sostanze umiche, oppure mercurio in forma elementare  $\text{Hg}^0$  o in forma Hg-M (ossia gli amalgami di mercurio metallico).
- Mercurio “non-mobile”: comprende le specie non reattive, quali  $\text{HgS}$  e  $\text{HgSe}$ .

La maggior parte del mercurio presente nei suoli e sedimenti non contaminati è legata alla materia organica del suolo (soprattutto acidi organici, umici e fulvici). In generale, è stato dimostrato che in suoli dal pH acido c'è una stretta correlazione tra mercurio e materia organica, mentre in suoli neutri o debolmente acidi (a pH maggiore di 6) si ha un'affinità più forte tra mercurio e ossidi o idrossidi di ferro rispetto a quella con la materia organica. Quella legata alla materia organica rimane comunque la forma predominante di mercurio, principalmente in ragione dell'elevata affinità tra  $\text{Hg}^{2+}$  e i suoi composti inorganici con i gruppi funzionali contenenti zolfo e presenti in abbondanza negli acidi organici del terreno (Palmieri et al., 2006)

### 3.2.2.2 Effetti del mercurio sulla salute umana

Una volta diffuso in suoli o sedimenti, il mercurio va incontro a processi di trasformazione in prossimità della superficie, dove il suolo è costituito da una mistura di rocce, terra, acqua, aria e microrganismi. I processi interessano la forma atomica dell'elemento (speciazione) e perciò la sua solubilità, mobilità, biodisponibilità e tossicità. Di norma, meno una specie chimica è solubile, meno è mobile e tossica. Perciò, la trasformazione di specie solubili in specie poco solubili può ridurre l'impatto dei pericolosi metalli pesanti sugli organismi viventi e sull'ambiente. Viceversa, se una sostanza poco solubile, come il mercurio elementare, in ambiente viene trasformata in sostanze più solubili, gli effetti possono essere estremamente dannosi per gli ecosistemi e per l'uomo.

Si è discusso, nel capitolo precedente, di come il principale apporto di mercurio nei suoli e nei sedimenti sia dovuto alla deposizione di mercurio elementare dall'atmosfera. Il comportamento del mercurio trattenuto dal suolo è inizialmente governato da processi chimico-fisici, che provocano la diffusione nel comparto, la reazione con altri elementi a formare nuovi composti e la sua solubilizzazione, grazie alla quale il mercurio riesce ad entrare a far parte anche di soluzioni acquose. Una volta disciolto in soluzione, il mercurio è soggetto inizialmente a reazioni di adsorbimento-desorbimento, e successivamente anche a trasformazioni biologiche.

Alcune classi di micro-organismi possono trasformare i metalli per mezzo di processi di ossido-riduzione o attraverso altre reazioni chimiche. Nel suolo, organismi microscopici possono trasformare la forma meno velenosa di mercurio, quella inorganica (che non contiene carbonio) in una forma organica, che è tossica e velenosa.

In questa reazione, chiamata metilazione, un atomo o un gruppo ionico in composti Hg(II) è rimpiazzato da un gruppo metile (-CH<sub>3</sub>). Il metilmercurio CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>, essendo uno ione positivo, si combina rapidamente con anioni come lo ione cloruro (Cl<sup>-</sup>), lo ione idrossido (OH<sup>-</sup>), lo ione nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) o vari gruppi anionici tipicamente presenti negli acidi umici e fulvici del suolo (Skylberg et al., 2006).

La fonte di esposizione primaria a metilmercurio è senza dubbio il consumo di pesce, che è anche la via di esposizione di gran lunga più approfondita e studiata nella valutazione del rischio per inquinamento da mercurio. L'esposizione a pari concentrazioni di mercurio elementare e mercurio inorganico ha un impatto molto minore sulla salute dell'uomo. Tuttavia, a causa dei processi di metilazione, forme metilate del mercurio sono abitualmente presenti anche in siti contaminati, da cui l'esposizione può avvenire sia per ingestione di polveri o di suolo, sia per inalazione di polveri o vapori, sia per contatto dermico (Environmental Agency, 2009).

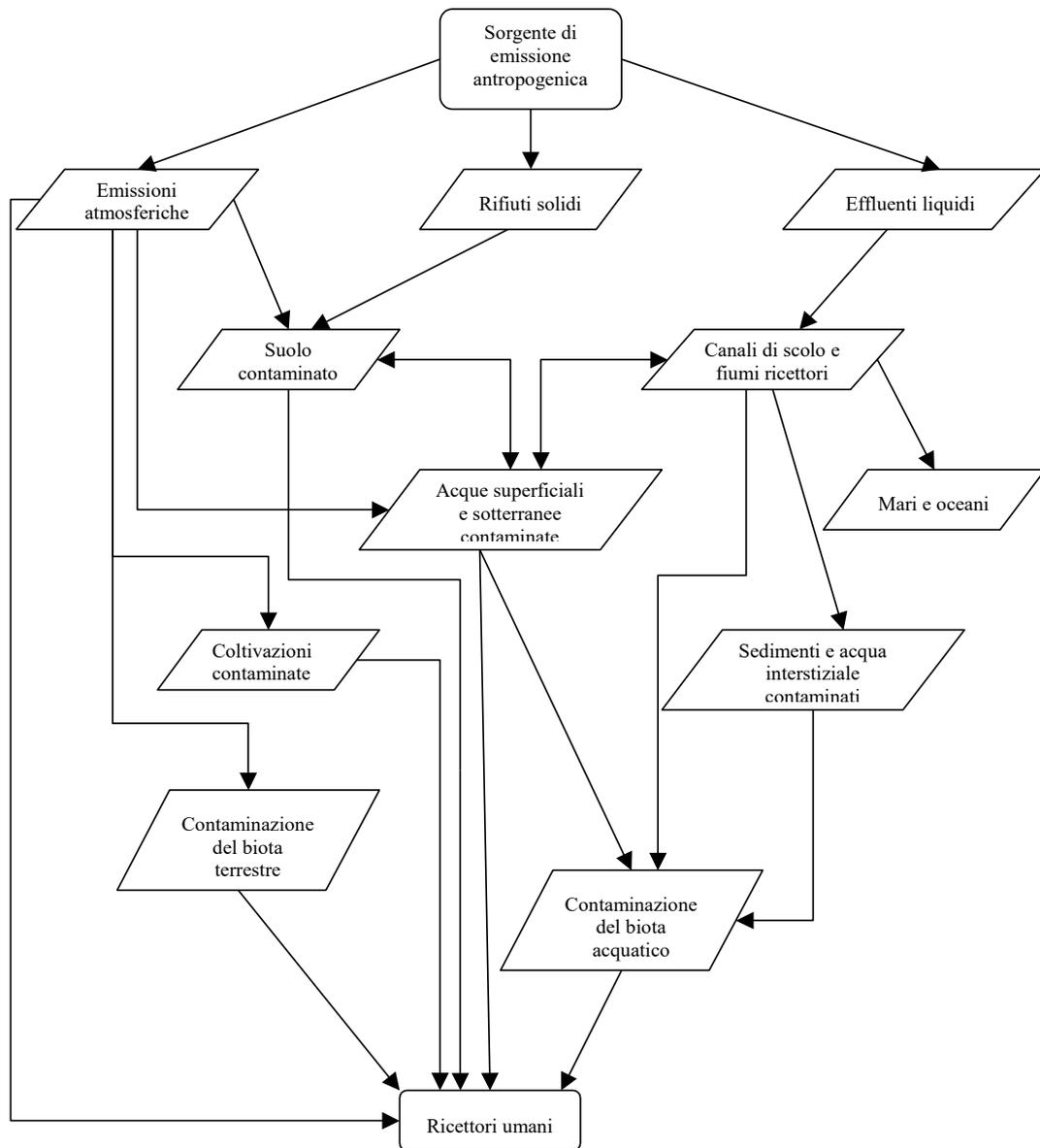
L'esposizione a mercurio elementare avviene invece esclusivamente per inalazione. La via di esposizione principale nei paesi sviluppati pare ancora oggi essere l'inalazione dei vapori esalati dagli amalgami delle otturazioni dentali. L'esalazione avviene a basse esposizioni per tutta la vita (Barregard, 2008), ma l'esposizione maggiore si ha al momento dell'installazione e dell'eventuale rimozione dell'otturazione, e può essere evitata solo usando complesse apparecchiature e protezioni (SCENIHR, 2008). Grazie alla disponibilità di prodotti

alternativi probabilmente, entro pochi anni, l'amalgama di mercurio per usi dentistici sarà completamente vietata (COM (2005) 20). Altre vie di esposizione al mercurio elementare, sempre per inalazione, riguardano esalazioni provenienti da siti contaminati (Environmental Agency, 2009) o da rotture accidentali di apparecchi che basano il loro funzionamento sull'uso del mercurio, quali ad esempio termometri, barometri o interruttori elettrici (Health Protection Agency, 2007).

Per ciò che concerne le forme inorganiche del mercurio, invece, le principali esposizioni avvengono per ingestione, soprattutto di cibi o medicine di origine vegetale in cui sono presenti sali di mercurio, e per contatto dermico con antisettici, fungicidi e battericidi di vecchia generazione, ancora contenenti forme di mercurio (Health Protection Agency, 2007). Da non trascurare anche l'ingestione accidentale di suolo contaminato, polveri casalinghe di varia origine e particelle di vernici (Davis, Bloom & Que Hee, 1997).

Si sottolinea inoltre come la conoscenza della presenza del mercurio in acqua sia fondamentale per lo studio della sua reattività e dei processi biogeochimici che lo coinvolgono, ma non per lo studio dell'esposizione. Infatti, le concentrazioni di mercurio in acqua sono talmente piccole che l'assunzione via acqua potabile non è considerata una via di esposizione degna di nota, tranne quando non sussistano significativi episodi di inquinamento locale (Health Protection Agency, 2007; Gibicar et al., 2009).

In Figura 3.2, a pagina seguente, è proposto uno schema concettuale della diffusione del mercurio in ambiente e dei percorsi di migrazione principali con cui si realizza l'esposizione per i ricettori umani. Il diagramma è stato tratto da uno studio sulla contaminazione provocata da un impianto cloro-soda, e per questo motivo sono considerate non solo le emissioni atmosferiche, ma anche i rilasci nel suolo e nel comparto idrico (Reis et al., 2009).



**Figura 3.2 - Schema concettuale della diffusione del mercurio in ambiente e dei percorsi di migrazione principali con cui si realizza l'esposizione per i ricettori umani.**

Il mercurio è unanimemente riconosciuto come uno dei più pericolosi e dannosi inquinanti rilasciati dalle attività antropiche. In caso di intossicazione acuta, esso può causare danni irreversibili al sistema nervoso, fino alla paralisi o al decesso, ma gli studi di settore si concentrano maggiormente sugli effetti dannosi dovuti ad intossicazione cronica, che hanno un più ampio spettro di diffusione e di azione, nonché una più complessa analisi e valutazione.

La pericolosità del mercurio balzò per la prima volta agli onori della cronaca negli anni '50, con la tragedia della baia di Minamata.

Tutto cominciò negli anni '30 quando la Chisso Corporation iniziò a scaricare nella baia di Minamata, nel mare di Shiranui, acque reflue contaminate da metilmercurio. Questa pratica andò avanti indisturbata per 36 anni, avvelenando il mare in cui lavorava una comunità di pescatori.

Cominciarono a comparire i primi malati, e verso la fine degli anni '60 "il morbo di Minamata" - ovvero avvelenamento da metilmercurio - fu ufficialmente riconosciuto. Il morbo di Minamata è una malattia ancora senza cura di cui si può solo cercare di alleviare i sintomi, che attacca il sistema neurologico, origina danni alla vista e all'udito e provoca malformazioni genetiche; in casi estremi porta a disordine mentale, paralisi, coma e morte.

Un'altra strage dovuta ad avvelenamento da mercurio si consumò in Iraq tra il febbraio e l'agosto del 1972. Si contarono 6.530 vittime dell'avvelenamento e 459 decessi, e in seguito alle indagini si scoprì che l'intossicazione era stata causata da grano coltivato in alcune piantagioni latifondiarie, in cui veniva usato un fungicida al mercurio (Rustam & Hamdy, 1974).

Da questi ed altri gravi episodi, venne riconosciuta la pericolosità dell'inquinamento da mercurio, che attraverso molteplici vie di diffusione (aria, acqua, cibo, prodotti cosmetici e farmaceutici, etc.) è in grado di entrare facilmente nella catena alimentare, di accumularsi e di persistere in ambiente e negli organismi per lungo tempo.

Il mercurio elementare  $Hg^0$ , per la sua elevata tensione di vapore, viene assorbito nel tratto respiratorio per inalazione, e per la sua liposolubilità e mancanza di carica elettrica può facilmente attraversare la barriera ematoencefalica e la placenta e accumularsi nel sistema nervoso centrale; inoltre, può essere ossidato nell'organismo a  $Hg^{2+}$  che è tossico per il rene. Il mercurio metallico, se ingerito, non viene assorbito dal tratto gastrointestinale, mentre, se inalato, il 70-80%, esso

viene trattenuto negli alveoli polmonari ed in seguito distribuito in tutto il corpo attraverso la circolazione sanguigna e ossidato a ione bivalente, che è ritenuta la forma più tossica del mercurio inorganico. Al contrario del mercurio elementare, le forme ioniche del mercurio inorganico non sono in grado di oltrepassare la barriera ematoencefalica e la placenta così facilmente, poiché hanno una bassa liposolubilità. Tuttavia, questo dà origine a un effetto controproducente, poiché il mercurio elementare entra nel cervello e nel feto dove viene in una certa misura ossidato, e rimane così “intrappolato” in essi sotto forma di ione divalente (Health Protection Agency, 2007).

L'inalazione di elevate quantità di vapori di mercurio nell'uomo causa intossicazione acuta, provocando un danno permanente al sistema nervoso con possibilità di morte; l'intossicazione cronica invece, detta “mercurialismo”, colpisce il sistema nervoso in maniera insidiosa, così che gli effetti tossici non si possono osservare se non dopo mesi o anni dall'inizio dell'esposizione (Environment Agency, 2009).

I sali del mercurio inorganici contenenti  $\text{Hg}_2^{2+}$  o  $\text{Hg}^{2+}$  (in particolare quelli solubili e quindi facilmente assorbibili) vengono solo parzialmente assorbiti (il 10% circa) e determinano nel tratto gastrointestinale la denaturazione delle proteine, manifestando effetti corrosivi. I valori di pH dello stomaco (pH 2-3) e dell'intestino tenue (pH alcalino) sono determinanti per capire come lo stesso organismo sia in grado di operare una trasformazione delle specie del mercurio, dando origine a specie più solubili rispetto a quelle di partenza.

Le forme metilate del mercurio invece, che si trovano soprattutto negli alimenti e in particolare nel pesce, vengono assorbite in quantità che possono raggiungere il 90% rispetto al totale introdotto. Lo ione  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  presenta tossicità decrescenti all'aumentare della lunghezza della catena alchilica a cui è legato. In tale forma, il mercurio viene rapidamente distribuito al fegato (circa il 50%), al sistema nervoso centrale e ai reni.

Questa forma del mercurio è in assoluto la più tossica per gli animali e gli esseri umani, a causa delle sue proprietà liposolubili, e viene prontamente e completamente assorbita. Gli effetti negativi hanno gravi implicazioni soprattutto per gli organismi che si trovano in cima alla piramide alimentare, come ad esempio gli esseri umani appartenenti a popolazioni con una dieta tradizionalmente ricca di pesce, a causa del processo di biomagnificazione.

La tossicità del metilmercurio a basse dosi di esposizione nell'uomo riguarda una molteplicità di effetti dannosi più o meno gravi, che possono essere raggruppati in sette categorie (Zahir et al, 2005):

1. Danni al sistema nervoso dei feti e dei bambini;
2. Danni al sistema nervoso degli adulti;
3. Danni ai reni e al fegato;
4. Danni alla riproduzione;
5. Danni al sistema immunitario;
6. Danni al sistema cardiovascolare;
7. Danni genetici.

Per quanto riguarda la cancerogenicità dei composti del mercurio, numerosi studi si sono cimentati nell'argomento, senza tuttavia rilevare evidenze convincenti nel legame tra l'esposizione a mercurio e l'insorgere di tumori negli esseri umani. Il mercurio in tutte le sue forme viene quindi riconosciuto come inquinante estremamente tossico, ma non cancerogeno (Health Protection Agency, 2007).

Si riporta di seguito la classificazione del mercurio secondo il regolamento CLP (Classification, Labelling and Packaging) è il regolamento europeo n.1272/2008, grazie al quale il sistema di classificazione europeo relativo alla classificazione, etichettatura e imballaggio delle sostanze chimiche (e delle loro miscele) è stato allineato al sistema mondiale armonizzato di classificazione ed etichettatura delle sostanze chimiche (GHS) che indica i criteri di classificazione, che individuano precisamente le sostanze e i pericoli connessi, da comunicare attraverso indicazioni e pittogrammi standard riportati sulle etichette e nelle schede di dati di sicurezza.

<b>Classificazione CLP</b>		
<i>Classe di pericolo e codice di categoria</i>	<i>Codice di pericolo</i>	<i>Effetti relativi</i>
Acute Tox. 2	H330	Fatale se inalato
STOT RE 1	H372	Causa danni agli organi attraverso prolungate o ripetute esposizioni
Aquatic Acute 1	H400	Molto tossico per gli ambienti marini
Aquatic Chronic 1	H410	Molto tossico per gli ambienti marini con effetti di lunga durata
Repr. 1B	H360D	Può causare danni ai nati

**Tabella 3.9 - Classificazione del mercurio secondo regolamento CLP -**

In fine si riportano i segnali di avvertenza inerenti al mercurio secondo il regolamento CLP.



Figura 3.3 - GHS09 Pericolo ambiente acquatico



Figura 3.4 - GHS08 Rischio mutageno, respiratorio, cancerogeno e per la riproduzione



Figura 3.5 - GHS06 Tossicità acuta 1, 2, 3

## 4 Trattamento secondario

### 4.1 Descrizione generale del processo di trattamento fumi

Il sistema di trattamento fumi è un processo che si occupa della rimozione di cloruro di idrogeno, biossido di zolfo, fluoruro di idrogeno, mercurio, metalli pesanti, diossine, furani e particolati solidi inquinanti dai fumi dei termovalorizzatori municipali.

Consiste nel:

- rimuovere la maggior parte delle ceneri volanti per mezzo di un elettrofiltro (ESP)
- iniezione in linea di reagenti in un reattore a secco
- rimozione dei prodotti della reazione e delle ceneri volanti per mezzo di filtro a maniche
- rimuovere gli ossidi nitrosi e la coda delle diossine e furani ad opera di reattore catalitico (SCR)
- estrarre i fumi trattati che vengono inviati in atmosfera attraverso le condotte per mezzo di un ventilatore di estrazione

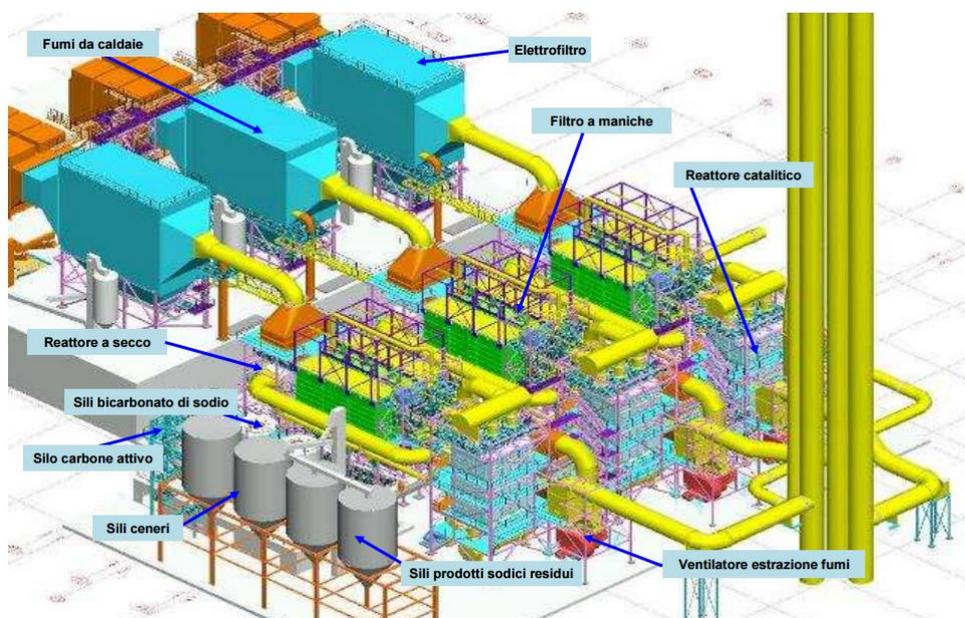
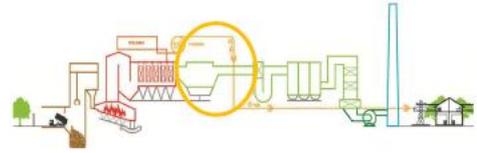


Figura 4.1 - Schema illustrativo dell'impianto di trattamento dei fumi

Fonte: Presentazione a cura dell'Ing. Daniele Valle, Ufficio Tecnico TRM (2017)

## 4.2 Componenti

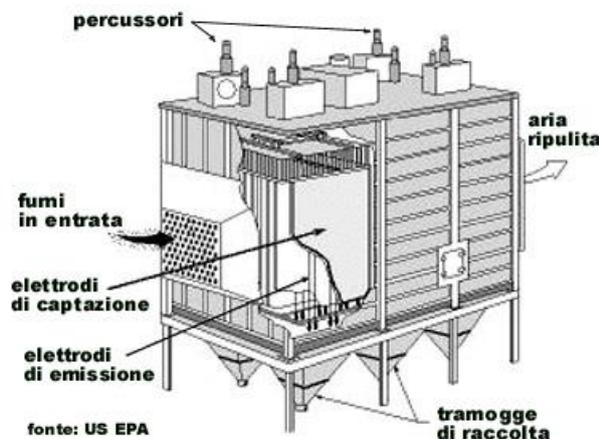


### 4.2.1 Elettrofiltro

I fumi caldi provenienti dalla caldaia entrano nell'elettrofiltro.

Vengono distribuiti tra gli elettrodi di emissione, disposti nei campi elettrici separati per modificare elettricamente le polveri e defletterle dal flusso del gas verso gli elettrodi di raccolta. Il fondo delle tramogge è dotato di un trasportatore che estrae le polveri verso il sistema di trasporto delle ceneri.

All'uscita dell'elettrofiltro, i fumi sono puliti dalla maggior parte delle polveri.



**Figura 4.2. Schema illustrativo del funzionamento dell'elettrofiltro**

Fonte: NON SOLO ARIA, Elettrofiltri a secco con corona negativa,

<http://www.nonsoloaria.com/elfscnc.htm>

È stato scelto un elettrofiltro a tre campi per garantire un contenuto di polveri sufficientemente basso all'uscita e per ottenere un basso contenuto insolubile di assorbente esausto sotto il filtro a maniche.

L'elettrofiltro a tre campi è composto da un ingresso divergente con griglia di distribuzione per migliorare la distribuzione del gas. Ciascun campo è dotato di elettrodi di emissione e elettrodi di raccolta.

Il trattamento consiste nell'applicare un'elevata differenza di potenziale tra gli elettrodi di emissione e di raccolta. In questo modo si ha la creazione, in prossimità degli elettrodi di emissione, di un forte campo elettrico. Il campo così generato provoca la ionizzazione del gas (vettore delle particelle contaminanti) attorno alla superficie dell'elettrodo di emissione. L'effetto che si realizza prende il nome di effetto corona. Il flusso di gas che viene fatto passare tra le piastre di raccolta viene

ionizzato, quindi gli ioni tendono a spostarsi dalla zona di corona verso gli elettrodi di raccolta. In questa fase gli ioni prodotti entrano in collisione con le particelle di contaminante in sospensione e cedono loro una carica elettrica. Tale processo di collisione può interessare ogni particella che quindi può essere caricata dall'azione di più ioni, fino a raggiungere elevati livelli di carica.

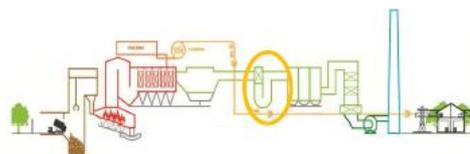
Le polveri cariche (ceneri) vengono quindi attratte verso gli elettrodi di raccolta dove sono trattenute e successivamente rimosse *con il metodo a secco o ad umido*.

Successivamente le ceneri cadono nella tramoggia la quale è dotata di vibratori e misuratori di livello e di temperatura.

Le ceneri vengono raccolte sotto il filtro e trasferite al silo attraverso:

- un trasportatore a nastro, posizionato sotto la tramoggia del filtro;
- una valvola a doppia cerniera;
- un sistema di trasporto meccanico verso il silo.

#### 4.2.2 Reattore a secco



Successivamente il gas proveniente dall'elettrofiltro viene fatto passare da un economizzatore, il quale funge da scambiatore di calore realizzato allo scopo di preriscaldare il fluido così da ottenere una riduzione del consumo di energia in quanto recupera il calore contenuto nei prodotti di combustione.

All'uscita dell'economizzatore, quindi all'ingresso del reattore a secco, vengono iniettati bicarbonato di sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e carbone attivo in forma di polvere al fine di abbattere la maggior parte dei gas acidi, delle diossine, dei furani e dei metalli pesanti.



**Figura 4.3. Foto illustrativa del reattore a secco**

*Fonte:* Presentazione a cura dell'Ing, Daniele Valle, Ufficio Tecnico TRM (2017).

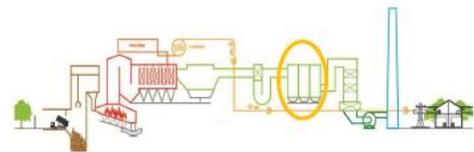
In particolare:

- Il carbone attivo, altamente poroso, adsorbe i microinquinanti:
  - inorganici → metalli pesanti quali Pb, Zn, Cd, Hg;
  - organici → diossine (PCDD), furani (PCDF), composti clorurati e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).
- Il bicarbonato di sodio, reagendo chimicamente con i macroinquinanti gassosi:
  - ossidi di zolfo
  - acidi (*cloridrico, fluoridrico*)
 fa sì che vengano prodotti altri composti gassosi, che vengono espulsi dal camino sotto forma di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e vapor d'acqua (H<sub>2</sub>O).

Il reattore a secco è studiato per fornire una buona miscelazione e un tempo di contatto sufficiente tra reagenti e inquinanti.

Il reattore è dotato di:

- un analizzatore di gas non trattato che misura l'ingresso di inquinanti gassosi e partecipa al controllo dell'iniezione di bicarbonato misurando la concentrazione di SO<sub>2</sub>, HCl, NO<sub>x</sub> e CO, insieme alla misurazione della portata di gas puliti al camino;
- flange libere, per il campionamento e la misurazione dei fumi;
- termometro;
- un ugello per iniezione bicarbonato e carbone attivo in polvere più una flangia per ugello di riserva;
- due passaggi di ispezione;
- un miscelatore statico, utilizzato per miscelare tra di loro due correnti fluide;
- due manometri (uno a valle dell'economizzatore, uno a valle del reattore a secco) collegati a un manometro di delta utile a controllare il delta di pressione presente nel reattore stesso.



### 4.2.3 Filtro a maniche

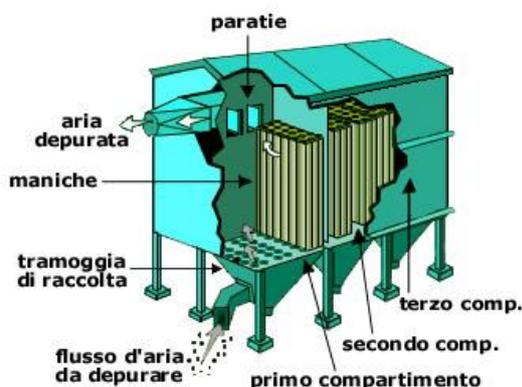
Dopo aver lasciato il reattore a secco, i fumi entrano nel filtro a maniche. Il filtro partecipa al trattamento dei fumi in due modi:

- rimuovendo dai fumi le ceneri volanti e le particelle di reagente rimanenti;

- creando un strato reattivo di reagente ove viene completato l'adsorbimento degli inquinanti gassosi.

I fumi passano attraverso i filtri a manica dall'esterno all'interno, depositano le particelle sulla parte esterna delle maniche. Le particelle, composte di ceneri volanti, prodotti della reazione e reagenti non ancora processati, creano uno strato di reagente sulla manica ("agglomerato"). Questo strato reattivo consente il completamento della reazione tra reagente e inquinanti gassosi, metalli pesanti, diossine e furani.

Per garantire che venga effettuata un'elevata separazione degli inquinanti gassosi dei fumi, è necessario disporre di uno strato di reagente non interrotto sufficiente. Perciò, le file di maniche vengono pulite in successione secondo un ordine programmato. La pulizia del filtro a maniche, utilizzando l'aria compressa, avviene automaticamente una volta che il delta di pressione, tra esterno ed interno della manica, supera un valore calcolato o dopo un periodo predeterminato. Tutte le maniche della stessa fila sono pulite allo stesso tempo con un tubo di iniezione e un'elettrovalvola. Appena la valvola si apre, l'aria compressa contenuta nel serbatoio dell'aria irrompe nella fila di maniche corrispondente e la pulisce. La pulizia delle maniche viene eseguita durante il funzionamento.



**Figura 4.4. Schema illustrativo di un filtro a maniche**

*Fonte:* NON SOLO ARIA, Filtri con pulizia ad inversione di flusso,

<http://www.nonsoloaria.com/fltsif.htm>

Le particelle rimosse cadono nella tramoggia, che viene tracciata termicamente per evitare l'accumulo di sale per condensazione.

Infine, dalla tramoggia, le particelle vengono rimosse per mezzo di una coclea (2 per una linea di 3 tramogge) e scaricate nel sistema di gestione e stoccaggio residui.

Specifiche tecniche:

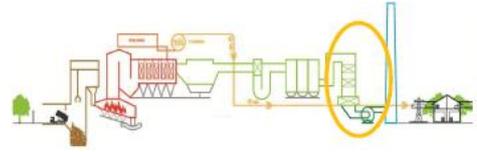
- le membrane delle maniche sono in 100% politetrafluoroetilene (PTFE). Sono state scelte prendendo in considerazione le condizioni di lavoro e le prestazioni previste;
- sulla sommità di ciascun filtro e su ciascuna tramoggia, i portelli di ispezione consentono l'accesso ai filtri a maniche per eseguire controlli e smontaggio.

Il filtro è dotato di:

- un bypass che protegge il filtro a maniche in caso di eccessivo incremento o decremento della temperatura misurata all'ingresso;
- smorzatori pneumatici di ingresso-uscita che saranno controllati dalla stanza di controllo, per isolare il filtro a maniche durante il bypass;
- un sistema di aria di tenuta (iniezione di aria calda nello smorzatore di bypass), utilizzato per garantire la tenuta dello smorzatore e impedire la formazione di punti di corrosione;
- un manometro del delta di pressione dell'intero filtro a maniche per indicazione;
- un manometro del delta di pressione sulle maniche della cella 1, con le valvole automatiche che passano alla cella 6 se la cella 1 è troppo intasata. La misurazione è utilizzata per il controllo del delta di pressione;
- un sequenziatore che controlla il processo di pulizia della manica.

Il filtro a maniche dispone di sei celle indipendenti (2x3). Ciascuna cella è dotata di:

- una tramoggia a tracciamento di calore con passaggio sul fondo, misuratore di livello, manometro e termometro;
- smorzatore pneumatico di entrata e uscita che vengono messi in funzionamento dalla stanza di controllo;
- un serbatoio di aria compressa per la pulizia della manica;
- manometro per la misurazione del differenziale di pressione locale.
- a monte del filtro a maniche, sono implementati tre termometri allo scopo di proteggere il filtro a maniche e a valle del filtro a maniche, è installato un sistema di misurazione della polvere per controllare se la manica perde e se è necessario dare, a tutela del successivo reattore catalitico, un ordine di bypass.



#### 4.2.4 Reattore catalitico SCR

Per catalisi si intende quel fenomeno chimico attraverso il quale la velocità di una reazione chimica subisce delle variazioni per l'intervento di una sostanza (o una miscela di sostanze) detta catalizzatore, che non viene consumata dal procedere della reazione stessa.

Il reattore SCR svolge l'abbattimento degli NO<sub>x</sub> presenti nei fumi, quindi in particolare esegue un processo di riduzione catalitica selettiva degli ossidi di azoto, meglio conosciuto come "Processo SCR", il quale consente di eliminare in modo quantitativo NO ed NO<sub>2</sub> dai fumi trasformandoli in composti inerti nei confronti dell'ambiente, quali N<sub>2</sub> e vapore acqueo.

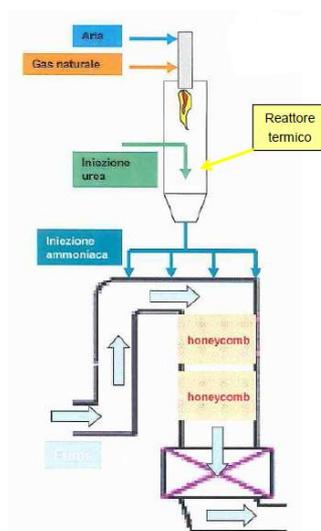
Il processo SCR rappresenta quindi, allo stato attuale delle conoscenze, la soluzione ai problemi di emissioni contenenti NO<sub>x</sub> a minor impatto ambientale tra quelle attualmente disponibili.

Il range di temperatura ottimale per il processo SCR è compreso tra i 180° ed i 350 °C. A temperature inferiori ai 180°C la conversione non è completa e quindi non è possibile garantire le rese di abbattimento generalmente richieste, mentre a temperature superiori ai 350 °C iniziano a verificarsi reazioni indesiderate.

I fumi che lasciano il filtro a maniche hanno una temperatura di circa 180 °C pertanto possono entrare direttamente nel reattore catalitico, senza necessità di installare scambiatori di calore.

La distruzione catalitica dell'ossido di azoto richiede un reagente, l'ammoniaca, che viene iniettata nei fumi a monte del catalizzatore; l'ammoniaca è prodotta per decomposizione termica di urea in soluzione acquosa, in un'unità comprendente due serbatoi di stoccaggio della soluzione di urea da 80 m<sup>3</sup> ciascuno (comuni alle tre linee) e tre reattori di decomposizione (uno per ciascuna linea), con relativi due bruciatori a metano per linea. Una griglia di iniezione specialmente progettata, porta una dispersione omogenea dell'ammoniaca gassosa nei fumi, senza deflettori aggiuntivi. Per confermare questo design viene utilizzato uno studio fluidodinamico computazionale (CFD) specifico che utilizza l'analisi numerica e algoritmi per risolvere e analizzare i problemi di fluidodinamica mediante l'utilizzo del computer.

Il reattore catalitico è composto da tre reattori catalitici in parallelo (ciascuno con catalizzatore del tipo *honey comb*, costituito da tre strati di cui uno di riserva).



**Figura 4.5. Schema illustrativo di funzionamento del reattore catalitico**

Fonte: Presentazione a cura dell'Ing. Daniele Valle, Ufficio Tecnico TRM (2017).

L'ingresso del reattore è progettato in modo che la distribuzione dei fumi tra i 3 cassoni e attraverso l'intera sezione trasversale di ciascun reattore sia il più uniforme possibile. Per questa ragione, le condotte di entrata di ciascun reattore sono fornite di palette di guida e una griglia di ripartizione viene installata a monte del catalizzatore. Anche per confermare questo design viene utilizzato uno studio CFD specifico.

Il gas miscelato ad ammoniaca fluisce attraverso gli strati catalitici. Tali strati comprendono diversi moduli che contengono gli elementi catalitici e sono installati l'uno vicino all'altro per coprire tutte le sezioni trasversali del reattore.

Ogni elemento catalitico a nido d'ape viene prodotto per estrusione e vulcanizzazione di una pasta di biossido di titanio, drogato con ossidi di tungsteno e vanadio.

Ciascuno dei tre reattori incorpora due livelli allestiti più uno spazio riservato a un terzo livello.

Poiché la temperatura di funzionamento è particolarmente bassa, sulla superficie del catalizzatore possono formarsi depositi di sali che ne diminuiscono la reattività. Pertanto deve essere eseguita una rigenerazione/lavaggio periodica incrementando la temperatura di uno dei tre reattori per mezzo dei ventilatori e bruciatori dedicati allo scopo. I gas di scarico sono nuovamente iniettati all'ingresso del reattore a secco, per

essere trattati come fumi secchi. Quindi è ancora possibile far operare l'impianto al carico nominale o inferiore con i due restanti reattori.

Allo stesso tempo, ciascun livello viene periodicamente pulito dal soffia fuliggine.

Il reattore catalitico è dotato di un sistema di preriscaldamento, che utilizza lo stesso ventilatore e bruciatori utilizzati per la rigenerazione/lavaggio. Questo sistema di preriscaldamento, necessario per ogni avvio, riscalda l'intero reattore catalitico.

Il reattore catalitico è dotato di:

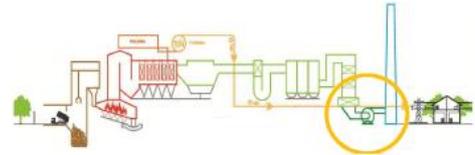
- una condotta di bypass con smorzatori;
- una griglia di iniezione dell'ammoniaca;
- sistemi di preriscaldamento/rigenerazione a loro volta composti da:
  - due bruciatori;
  - un ventilatore di preriscaldamento/rigenerazione;
  - un ingresso aria esterna per la ventilazione sicura dei reattori in caso di presenza eccessiva di CO nei fumi o post combustione;
  - una condotta di preriscaldamento dal ventilatore ai bruciatori con smorzatore automatico;
  - una condotta di rigenerazione dall'uscita del filtro a maniche ai bruciatori con smorzatore automatico e dal ventilatore sopramenzionato al reattore a secco con due smorzatori automatici;
- un sistema di tenuta aria riscaldato, che inietta aria calda nelle condotte di preriscaldamento, rigenerazione e bypass per assicurare la tenuta degli smorzatori e per impedire punti di corrosione e anche negli smorzatori di bypass del filtro a maniche.

Il reattore catalitico è composto da tre reattori indipendenti. Ciascun reattore è dotato di:

- smorzatori automatici all'ingresso e all'uscita;
- una cappa di ingresso con palette di guida e una griglia di ripartizione;
- un reattore catalitico a due livelli (più uno di riserva);
- una misurazione del delta di pressione locale sopra ogni livello;
- una misurazione monitorata del delta di pressione locale sopra il reattore catalitico;

- una connessione al sistema di rigenerazione/preriscaldamento all'ingresso e all'uscita, con smorzatori automatici;
- due termometri all'ingresso con calcolo della media;
- due termometri all'uscita con calcolo della media;
- calcolo della differenza di temperatura tra ingresso e uscita;
- soffia fuliggine su ciascun livello, controllato a tempo o con intervento operatore.

#### 4.2.5 Ventilatore di tiraggio e silenziatore



I fumi sono inviati al camino tramite un ventilatore di tiraggio. Il ventilatore è situato a valle dell'economizzatore finale, è di tipo a centrifuga, dotato di due motori a frequenza variabile, uno principale e uno di emergenza. Garantisce la necessaria sottopressione nelle caldaie e compensa il delta di pressione complessivo dell'impianto.



Figura 4.6. Schema illustrativo e immagine del ventilatore di tiraggio

Fonte: Presentazione a cura dell'Ing, Daniele Valle, Ufficio Tecnico TRM (2017).

Durante i blackout, il motore di emergenza viene utilizzato a velocità predefinita per l'aerazione delle caldaie.

È dotato di:

- condotte e smorzatori;
- un silenziatore, posizionato all'uscita del ventilatore, riduce le emissioni sonore in conformità alle normative.

Le condotte e gli smorzatori sono progettati tenendo in debita considerazione la composizione, velocità e temperatura dei fumi nelle diverse condizioni operative.

## **5 Modifiche trattamento per gestione mercurio**

Nel capitolo “*Problema emissione mercurio*” si sono descritte le fasi con cui TRM ha fronteggiato la problematica delle inaspettate emissioni di mercurio indicando, grazie alla raccolta dati eseguita dallo strumento di processo, identificando le seguenti 4 cause:

1. presenza di rifiuti in ingresso contenenti quantità significative di Hg;
2. il dosaggio del carbone attivo in funzione non risulta adeguato né tempestivo in quanto “comandato” dalle concentrazioni misurate a camino ;
3. il ruolo del reattore SCR nella dinamica del mercurio;
4. l’influenza dell’acidità dei fumi sul processo di rilascio di mercurio dal reattore SCR.

Si indicano di seguito le modifiche e/o i procedimenti che TRM ha implementato per fronteggiare le suddette cause.

### **5.1 Controllo rifiuti in ingresso**

Visti i risultati del controllo dei conferimenti di rifiuti urbani in ingresso all’impianto, dai quali emerge la presenza per la maggioranza dei carichi controllati di rifiuti di:

- apparecchiature elettriche ed elettroniche;
- tubi fluorescenti;
- pile;
- vernici, solventi e smalti;
- cavi elettrici.

TRM S.p.A. per minimizzare la presenza di tali componenti tra i rifiuti urbani conferiti all’impianto utilizza un piano di controllo della qualità dei rifiuti in ingresso effettuando controlli a campione sui conferimenti.

Qualora vengano riscontrate anomalie sui carichi, queste vengono se possibile risolte o si procede a respingere in tutto o in parte il carico. Le anomalie vengono comunicate ai conferitori utilizzando le evidenze di campo, quali i verbali di controllo ed eventuale materiale fotografico.

I controlli avvengono:

- in modo sistematico sui primi carichi dei nuovi conferitori;
- a campione secondo discrezionalità dell'operatore addetto;
- su richieste specifiche dell'Ufficio Tecnico o dell'Esercizio.

È stato infine introdotto un sistema di selezione casuale dei mezzi da sottoporre a controllo che va ad integrare i criteri già adottati.

Un ulteriore presidio di controllo è rappresentato dagli operatori delle benne di carico che; in caso vengano rilevate anomalie (per dimensioni o tipologia) sui rifiuti scaricati, possono adottare le seguenti azioni:

- bloccare, se possibile, lo scarico o, se lo scarico è già avvenuto, bloccare il mezzo
- documentare fotograficamente l'anomalia riscontrata (rifiuto non conforme) e identificare il mezzo
- comunicare l'anomalia e le informazioni raccolte (documentazione fotografica e identificazione del mezzo) all'Ufficio Tecnico
- recuperare il materiale non conforme, eventualmente già scaricato in fossa, e ricaricarlo sul mezzo.

Si prevede infine di affiancare una campagna di sensibilizzazione destinata ai conferitori attraverso l'invio di una scheda che illustri i limiti qualitativi a cui il rifiuto deve sottostare per l'ammissione in impianto e l'importanza del rispetto di tali vincoli (ad es. l'insorgere di criticità nella gestione rifiuti, aumento delle tempistiche di controllo e di conferimento, ecc.). Tale scheda sarà oggetto di nuovo invio al conferitore interessato in occasione di ogni anomalia registrata in sede di controllo.

## **5.2 Modifica parziale del sistema di backup di alimentazione carbone attivo**

L'implementazione impiantistica del sistema di backup di carbone attivo (previsto in affiancamento o in sostituzione del sistema principale) è stata collaudata nel mese di ottobre 2016. Tale implementazione ha tuttavia manifestato alcuni limiti che hanno portato alla necessità di modificare ulteriormente il sistema .

Nella sua attuale configurazione, il sistema implementato non ha evidenziato particolare efficacia nel contrastare i picchi e supportare il sistema di dosaggio

principale. Tale sistema opera con portata variabile fino ad un massimo di circa 60kg/h e dosa il carbone nel condotto di trasporto usato anche per il bicarbonato.

TRM dalla raccolta di esperienze ed informazioni ha fornito due linee di intervento per accrescere l'efficacia del carbone.

1. la necessità di incrementare fino a 200kg/h la portata con cui il sistema di backup può intervenire e rendere più rapido il raggiungimento di tale valore;
2. rendere indipendente l'iniezione del carbone attivo da quella del bicarbonato.

Lo schema riportato di seguito illustra le componenti principali progettate dal gestore dell'impianto inizialmente a servizio della sola linea 3:

- Micro-dosatore
  - Dati tecnici
    - Portata: 100-300 kg/h
    - Capacità tramoggia di contenimento: 430 litri
  - Caratteristiche costruttive
    - Tramoggia di contenimento realizzata in acciaio inox Aisi 304, dotata di tronchetto per il collegamento al ripartitore esistente, portello di ispezione e mensole di appoggio ai gruppi di pesatura.
    - Coclea di dosaggio realizzata in acciaio inox equipaggiata con motoriduttore servo-ventilato, comandato da inverter.
    - Aspo rompiponte in acciaio inox, equipaggiato con motoriduttore.
    - Sistema di pesatura composto da n°3 gruppi di pesatura e n°1 scatola di giunzione (alimentazione 5-15 Vac).
    - Completo di telaio di sostegno realizzato in profilati di acciaio al carbonio.
- Valvola rotativa a flusso attraversato
  - Cassa in ghisa sferoidale.
  - Rotore in acciaio interamente temprato, dotato di pale smussate.
  - Rivestimento, del rotore completo e dell'interno dello statore, con nitek deidrogenato al fine di evitare l'impaccamento del materiale.
  - Provvista di riduttore e motore ad esso direttamente accoppiato.

- Tubazioni complete di innesto nel reattore
  - Tubazioni di collegamento tra soffiante e valvola rotativa.
  - Tubazioni di collegamento tra valvola rotativa e reattore realizzate in acciaio inox, diam. 60 mm, complete di giunti di collegamento e curve ad ampio raggio.
  - N. 1 innesto nel reattore realizzato con pipa a 90° per l'immissione del carbone attivo al centro del reattore, in contro-flusso alla direzione dei fumi e con tubo incamiciato di diametro superiore per consentire l'effetto venturi con aspirazione di aria dall'esterno al fine di una maggiore omogeneizzazione della portata di carbone all'interno del flusso dei fumi.
- Gruppo soffiante completo di:
  - Soffiatore dotato di motore elettrico (7,5 kW).
  - Trasmissione, basamento, silenziatori reattivi con filtro in aspirazione, valvola di non ritorno, valvola di sicurezza, raccordo elastico, supporti antivibranti.
  - Cabina insonorizzante con ventilatore per raffreddamento.
  - Manometro di linea, manometro di intasamento filtro.

L'avvio della campagna di misura è previsto per il mese di gennaio 2018; in funzione dei risultati ottenuti potranno essere previste ulteriori future modifiche.

Ci si attende che le modifiche parziali apportate al sistema di backup ed oggetto della presente richiesta evidenzino un miglioramento generale nell'azione di contenimento dei picchi in ingresso; in tal caso la modifica potrebbe essere estesa alle restanti linee e, successivamente, si potrebbe anche valutare l'opportunità di predisporre l'alimentazione separata dal bicarbonato anche per il carbone del sistema principale.

### 5.3 Sistema SCR

Ciascuna linea di termovalorizzazione è dotata di un reattore SCR per l'abbattimento degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) composto a sua volta di tre comparti in parallelo e tra loro indipendenti.

Ciascun comparto contiene 2 layer di moduli catalizzatori ed ogni layer è composto da 5 moduli. Il reattore SCR di ciascuna linea contiene pertanto 30 moduli (5 moduli per layer per comparto).

Si riportano di seguito i dettagli gestionali dei 3 reattori:

- la Linea 1 esercita con il catalizzatore originale che è stato oggetto di rigenerazione;
- la Linea 2 esercita con il catalizzatore originale che non ha richiesto particolari interventi avendo risentito in maniera minore degli eventi di fine 2016;
- la Linea 3 esercita con catalizzatore nuovo.

La società che ha preso in carico la rigenerazione dei moduli non è stata in grado di escludere la presenza residua di mercurio nel catalizzatore rigenerato.

Il grado di contaminazione dei catalizzatori è monitorato attraverso l'incrocio dei dati di concentrazione di Hg a camino ed a processo; laddove si registri la sensibile presenza di Hg a camino in assenza di valori anomali in caldaia, ci si trova in condizioni di potenziale contaminazione. Fintanto che risulta garantita l'operatività della linea, non è necessario alcun intervento particolare, salvo l'adozione di accorgimenti finalizzati a garantire il controllo delle emissioni; tra questi, si cita il controllo dell'acidità dei fumi attraverso la gestione del bicarbonato.

## 6 Analisi emissioni anomale

In questo capitolo si analizzano i casi anomali di potenziale contaminazione descritti nel capitolo precedente in cui si registra una sensibile presenza di Hg a camino in assenza di valori eccezionali in caldaia.

In particolare si è cercato di confermare quanto indicato da TRM, in merito al controllo delle emissioni anomale di mercurio, attraverso una gestione delle criticità dovute alla contaminazione da mercurio dei reattori SCR.

TRM ha verificato sperimentalmente che i catalizzatori del reattore SCR, quando raggiungono un grado di contaminazione critico, rilasciano una quantità non trascurabile di mercurio, che andandosi a sommare con l'emissione dovuta al normale andamento dell'impianto, produce un picco di emissione non prevedibile.

TRM per rispondere a questi eventi anomali ha sperimentato che, se i fumi mantengono un'elevata acidità riducendo il quantitativo di bicarbonato di sodio iniettato nel reattore a secco, si ha il rilascio di mercurio da parte del reattore SCR contaminato. In questo modo si evita di sommare in modo incontrollato le emissioni dell'impianto, durante periodi critici dal punto di vista emissivo, con i rilasci del catalizzatore così da scongiurare eccessive emissioni.

Dal punto di vista progettuale, si ricorda che l'impianto è potenzialmente in grado di trattare, lavorando in condizioni MCR, effluenti con concentrazioni di mercurio non superiori a  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Tale considerazione è stata utile in fase di elaborazione dei dati SME, in quanto i casi anomali analizzati sono stati filtrati imponendo due condizioni:

- un quantitativo di mercurio in caldaia inferiore a  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ;
- un'emissione a camino maggiore di  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  che corrisponde al valore limite.

Se entrambe le condizioni sono verificate, per la stessa semi-ora, ci si trova nelle condizioni in cui è probabile il rilascio del mercurio da parte dei reattori SCR. I confronti sono stati effettuati sui valori semi-orari contemporanei in quanto è stato verificato che il tempo impiegato dai fumi per passare dal campionatore installato a valle dell'elettrofiltro al campionatore installato a camino è compreso tra 1,5 e 2 minuti.

Gli eventi anomali sono stati esaminati incrociando i seguenti dati:

1. emissioni di Hg misurate a camino, espresse in  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ;
2. emissioni di HCl misurate a camino, espresse in  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ;
3. portata di carbone attivo iniettato nel reattore a secco, espressa come  $\text{kg}/30\text{min}$ ;
4. portata di bicarbonato di sodio iniettato nel reattore a secco, espressa in  $\text{kg}/30\text{min}$ ;
5. temperatura dei fumi misurata a camino, espressa in  $^{\circ}\text{C}$ .

È importante notare che il dato di temperatura, al fine di un'analisi più rappresentativa, dovrebbe essere misurato a monte del reattore SCR, poiché tra il reattore SCR e il camino vi è ancora un recupero di calore costituito da un riscaldatore di condense. Tale dato è misurato dalla strumentazione di TRM ma non è presente nel database di dati SME utilizzato nel presente elaborato.

Di seguito si riportano, in Tabella 6.1, i numeri di eventi semiorari anomali per le 3 linee:

Linea 1	Linea 2	Linea 3
91	340	141

**Tabella 6.1 - Numero di eventi semiorari in cui si sono registrati meno di  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  di Hg al misuratore di processo e più di  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  al misuratore a camino**

Tale discrepanza fra le tre linee è imputabile alla differente data di installazione del misuratore di processo. Questa considerazione spiega il minor numero di casi registrati per la linea 1, in quanto è la linea che più recentemente ha iniziato le misurazioni di processo.

La linea 2 ha registrato più casi rispetto alle linea 3, poiché in quest'ultima TRM sta sperimentando tecniche di controllo delle emissioni anomale da parte dei catalizzatori, gestendo l'acidità dei fumi. Inoltre su tale linea è stato installato un nuovo reattore SCR.

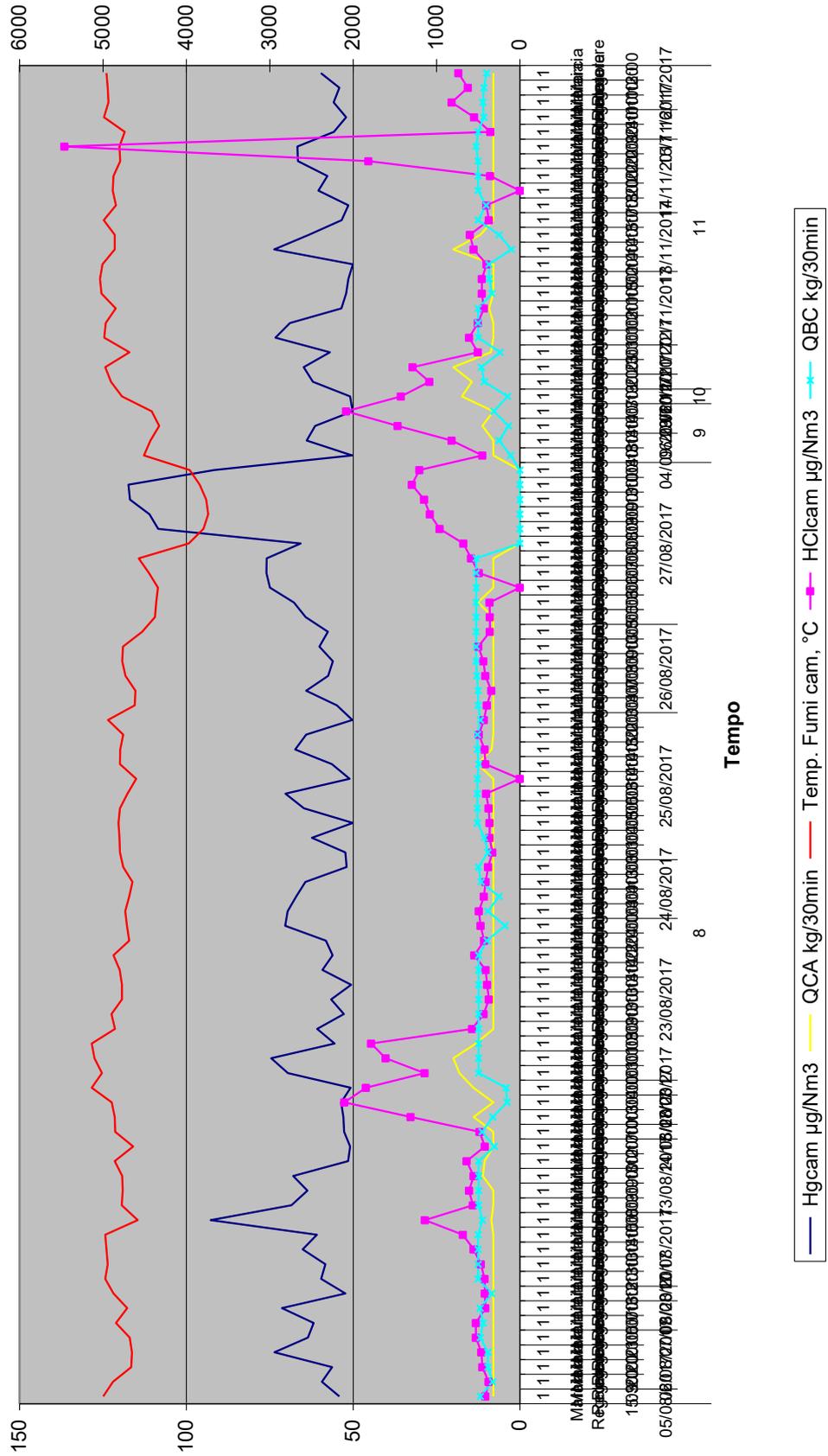
Nelle pagine seguenti si riportano i grafici degli eventi di emissioni anomale, ricavati dai dati SME filtrati secondo le condizioni precedentemente esposte.

N.B.: per facilitare la lettura dei grafici si sono utilizzati due assi per le ascisse:

- a. Sull'asse sinistro o asse primario sono riportate:
  - le emissioni di mercurio misurate a camino (Hgcam);
  - la portata di carbone attivo iniettato nel filtro a secco (QCA);
  - la temperatura dei fumi a camino (Temp. Fumi cam.).

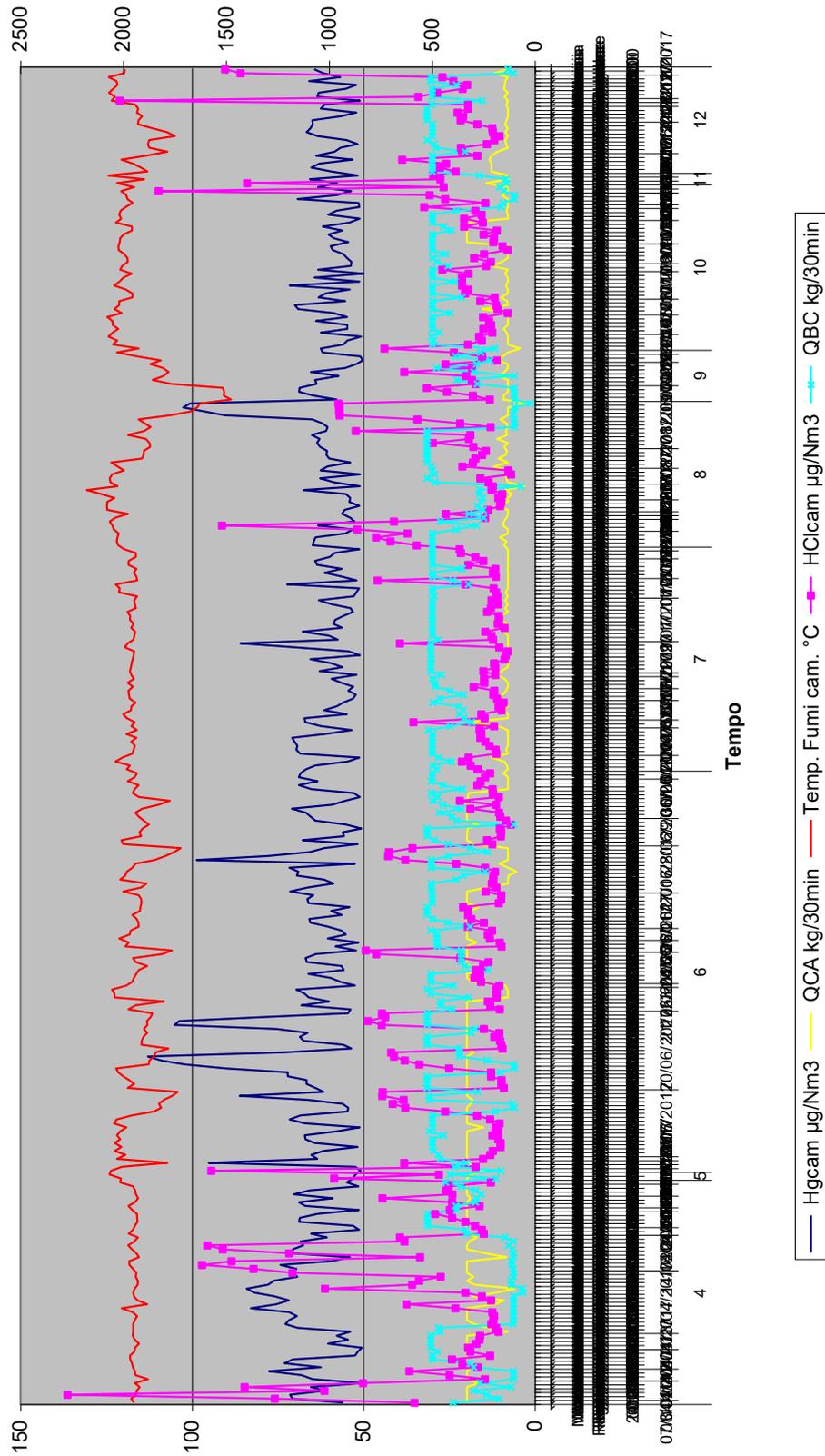
- b. Sull'asse destro o asse secondario sono riportate:
- le emissioni di acido cloridrico misurate a camino (HCl<sub>cam</sub>);
  - la portata di bicarbonato di sodio iniettato nel filtro a secco (QBC).

Eventi anomali 2017 Linea 1

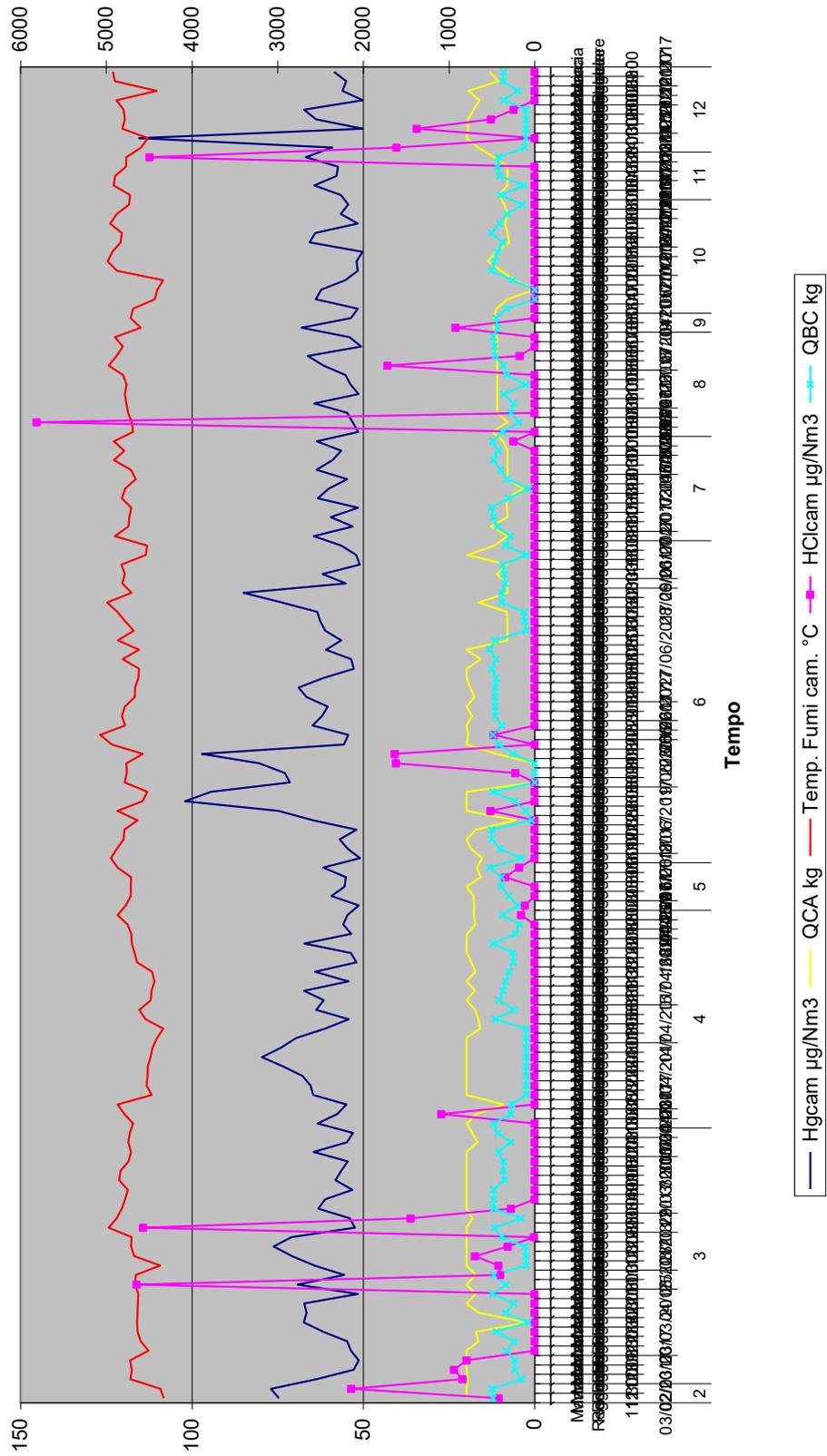


— Hgcam  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  — QCA  $\text{kg}/30\text{min}$  — Temp. Fumi cam,  $^{\circ}\text{C}$  — HClcam  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  — QBC  $\text{kg}/30\text{min}$

Eventi anomali 2017 Linea 2



Eventi anomali 2017 Linea 3



## 6.1 Analisi eventi anomali

Nel presente capitolo si analizzeranno nel dettaglio alcuni degli eventi anomali più significativi ricavati dallo studio dei dati SME forniti da TRM.

In particolare la scelta degli eventi, analizzati nelle pagine seguenti, è stata fatta sulla base delle condizioni esposte nel capitolo precedente, inoltre sono stati aggiunti altri due fattori, in particolare:

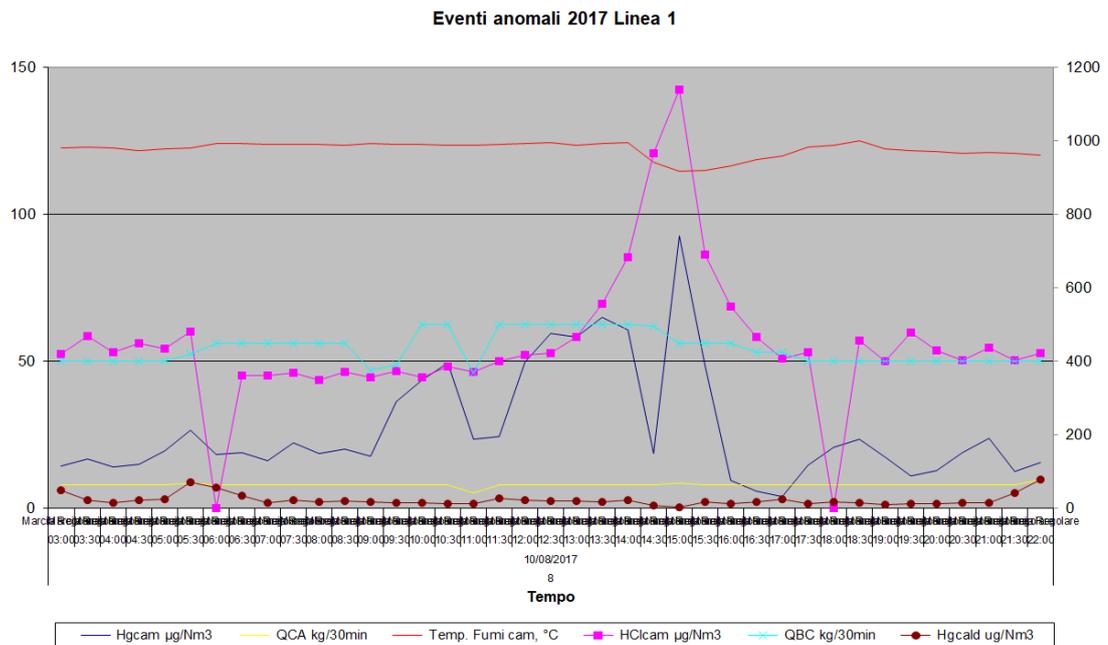
1. Il quantitativo di Hg in caldaia, così da evidenziare possibili episodi di superamento del limite potenziale di depurazione dell'impianto in condizioni MCR e di accumulo del mercurio nel reattore SCR;
2. L'andamento simultaneo della portata di bicarbonato di sodio e del quantitativo di HCl nei fumi, in tal modo si è cercato di dar prova della correlazione, spiegata in precedenza nel capitolo *Modifiche trattamento per gestione mercurio*, tra acidità dei fumi e possibili rilasci da parte del reattore SCR.

I grafici, esposti nelle pagine seguenti, rappresentano alcuni degli eventi anomali presenti nei grafici del capitolo precedente.

Per una più chiara lettura dei dati, si è scelto di esporre l'intera giornata o più giornate in cui si è verificato l'evento anomalo in esame. Potrebbero mancare alcune ore di inizio o fine giornata, ore non rilevanti al fine dell'analisi. Si è scelto di escluderle per rendere il più leggibile possibile l'asse delle ascisse.

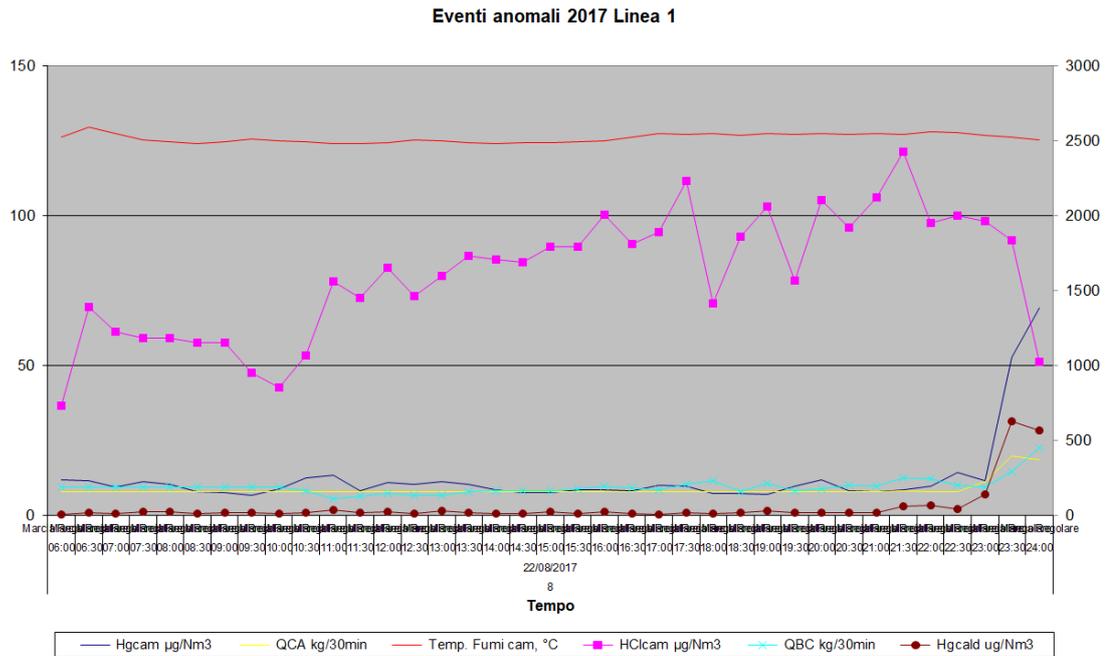
Inoltre, come per i grafici riassuntivi esposti nel capitolo precedente, si sono usati due assi per le ordinate, in modo da rendere più leggibili i grafici stessi.

Le serie aventi gli indicatori sono relativi all'asse secondario.

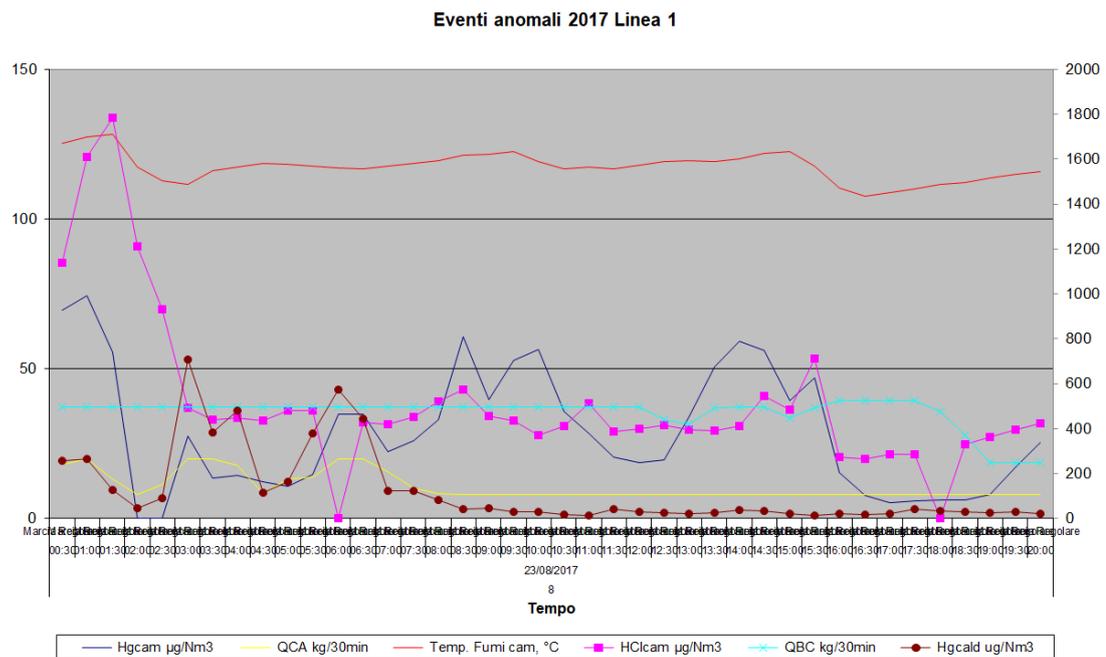


**Grafico 6.1 - Evento anomalo 10/08/2017 Linea 1**

Sul Grafico 6.1 si può osservare che dalle ore 12:00 alle ore 15:00, comprese, si sono registrati 6 superamenti emissivi di mercurio. Il più critico, avvenuto alle ore 15:00, ha raggiunto un valore pari a  $92 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Il picco di HCl è avvenuto anch'esso alle ore 15:00 in contemporanea al picco di  $92 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  ma a valle del primo episodio di superamento avvenuto alle ore 12:00. Inoltre non si osservano quantitativi allarmanti di Hg in caldaia.



**Grafico6.2 - Evento anomalo 22/08/2017 Linea 1**



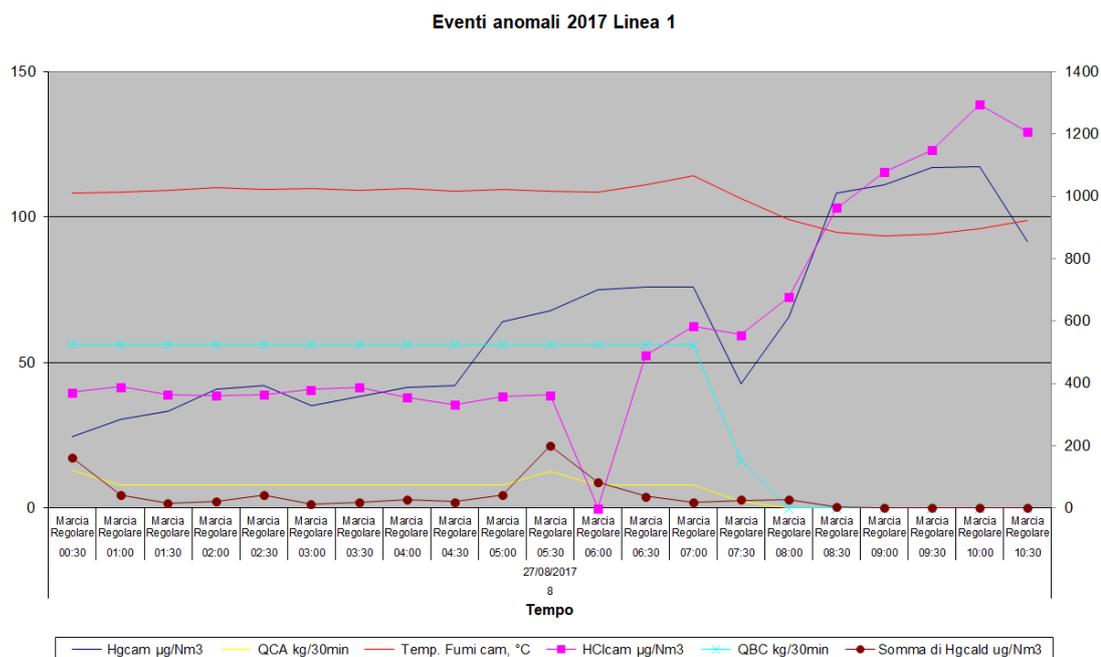
**Grafico 6.3 - Evento anomalo 23/08/2017 Linea 1**

Nella notte tra il 22 e il 23 agosto ha avuto inizio un caso di emissione anomala che si è poi protratta per buona parte del giorno seguente. Per rendere più chiara la lettura dei dati si è scelto di rappresentare in un singolo grafico l'andamento di un solo giorno. Tale metodologia verrà utilizzata per tutto il presente capitolo nel caso in cui l'evento da analizzare abbia una durata che si estende per due o più giorni.

Nell'evento illustrato nel Grafico6.2 si può notare che il 22/08/2017 l'andamento delle portate di carbone attivo e di bicarbonato di sodio sono pressoché costanti fino

alle ore 23:00. Ora in cui iniziano a presentarsi valori elevati di mercurio in caldaia. Valori che raggiungono due picchi considerevoli nelle ore successive. Precisamente si può notare che alle 23:30 si è registrato un quantitativo di Hg in caldaia pari a  $631 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Tale valore potrebbe potenzialmente essere la causa dell'emissione oltre il limite di  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  avvenuta nella stessa ora.

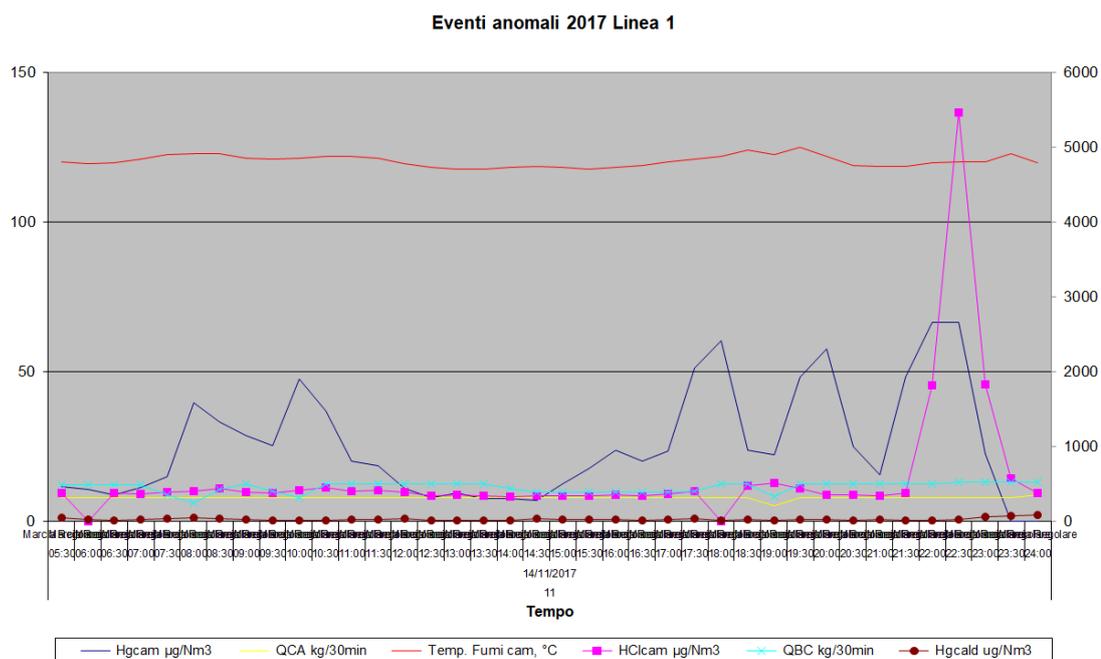
Il giorno seguente tra le ore 00:30 e le 01:30 si sono registrati 3 valori di Hg al camino oltre il limite, contemporaneamente all'01:30 vi è stato un picco di HCl pari a  $1799 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , alle ore 03:00 si è registrato un valore di Hg in caldaia pari a  $709 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e successivamente alle ore 06:00 un ulteriore picco di Hg in caldaia pari a  $573 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , contrariamente al caso precedente non si sono registrate emissioni oltre il limite nella stesse semi-ore. Come si può rilevare dal grafico sono però avvenuti 6 eventi emissivi oltre i  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  nelle successive 9 ore senza che si presentassero valori allarmanti di Hg in caldaia.



**Grafico 6.4 - Evento anomalo 27/08/2017 Linea 1**

Nel Grafico 6.4 si può notare che il 27/08/2017 a partire dalle ore 05:00, fino alle ore 10:30 si sono verificati 11 eventi emissivi di mercurio oltre limite. Emissioni che non sono giustificate da una presenza di mercurio in caldaia oltre i 300 µg/Nm<sup>3</sup>.

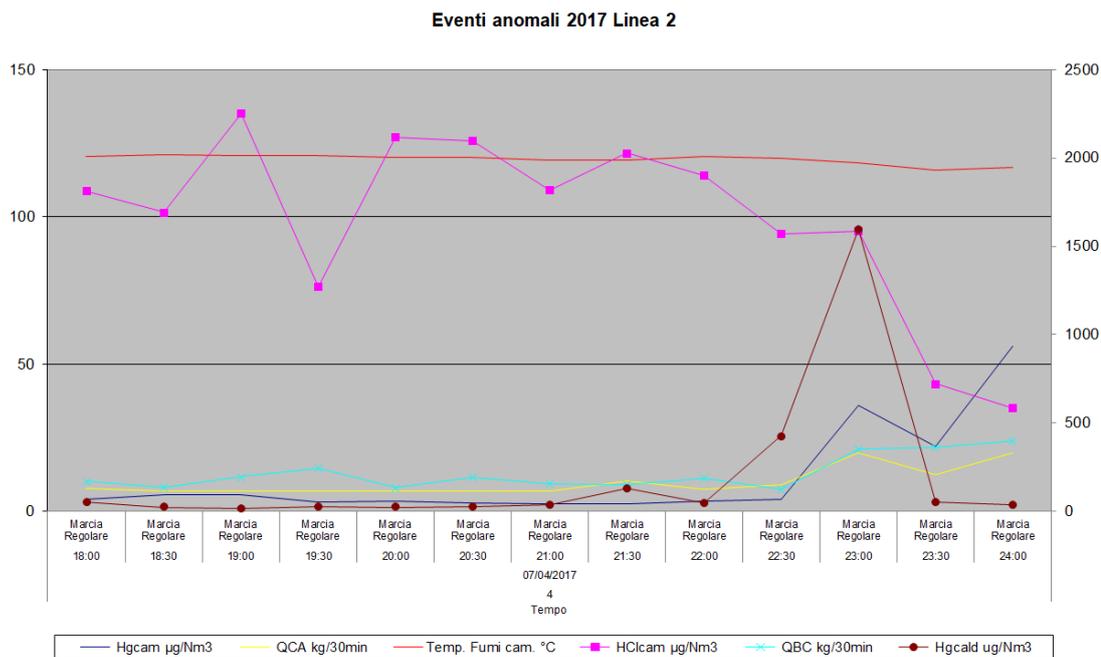
Si può inoltre notare che l'andamento di HCl si incrementa a partire dalle ore 06:30 fino a raggiungere il suo valore massimo alle ore 10:00.



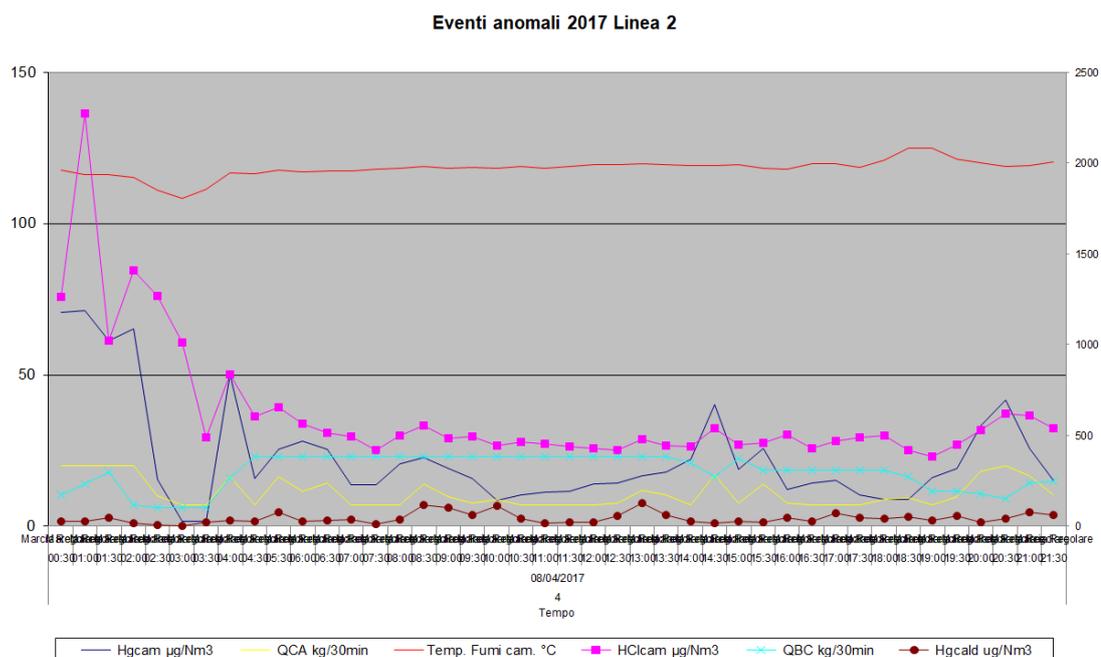
**Grafico 6.5 - Evento anomalo 14/11/2017 Linea 1**

Nel Grafico 6.5, relativo al giorno 14/11/2017, si può notare che nonostante non siano presenti quantitativi allarmanti di mercurio in caldaia si sono registrati 5 picchi di Hg a camino tra le ore 17:30 e le ore 22:30.

Si può inoltre notare che l'andamento di HCl presenta un picco alle ore 22:30.



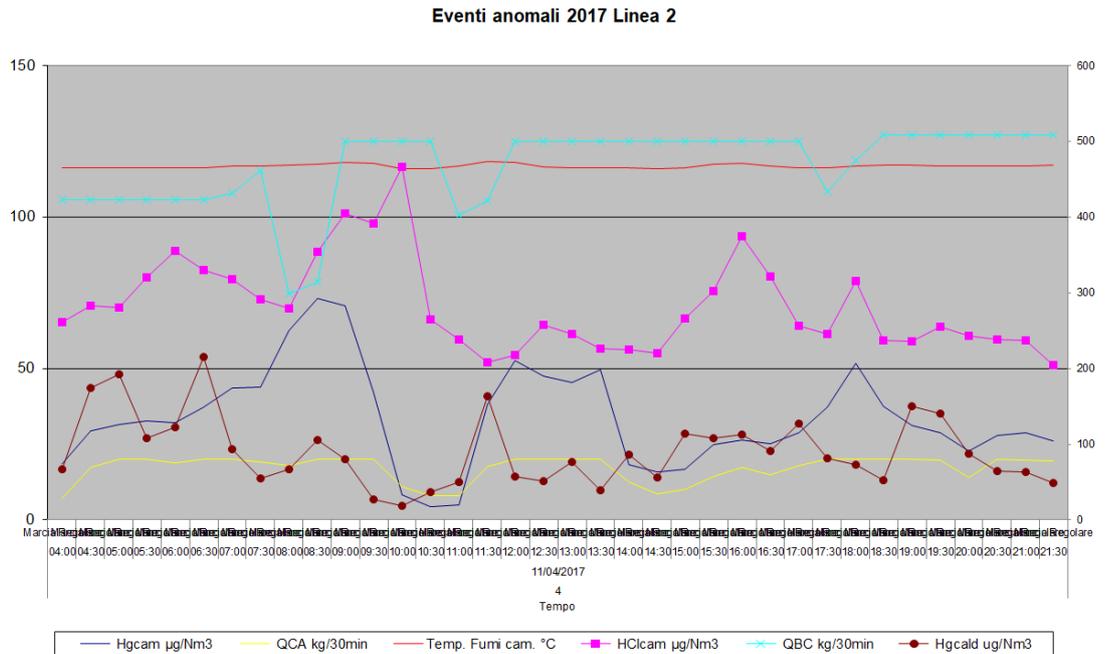
**Grafico 6.6 - Evento anomalo 07/04/2017 Linea 2**



**Grafico 6.7 - Evento anomalo 08/04/2017 Linea 2**

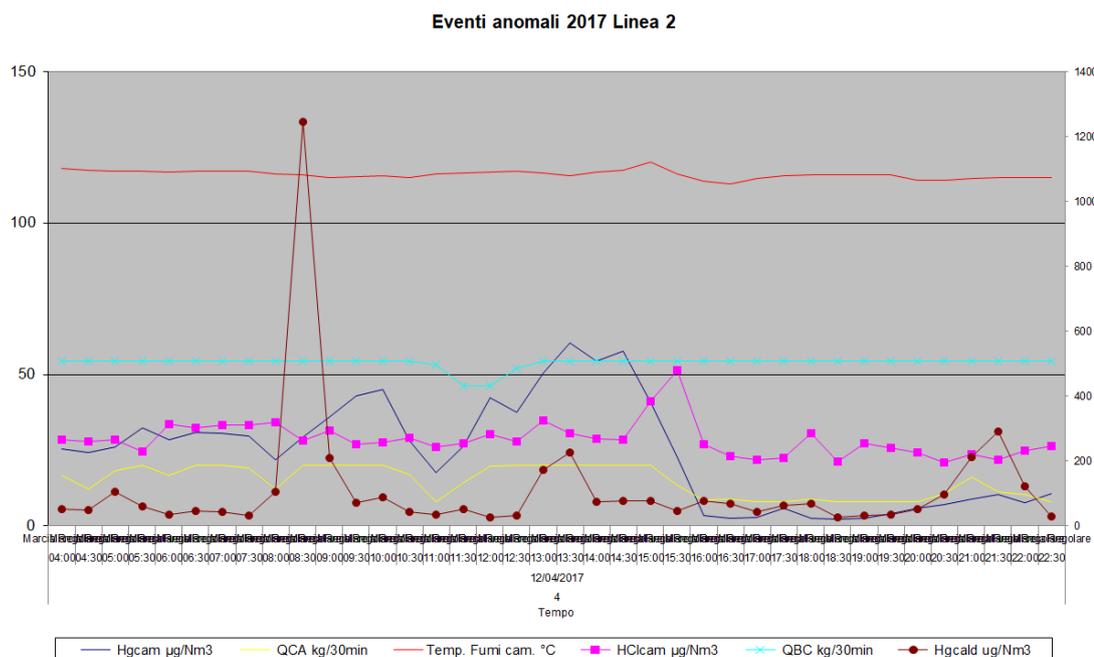
Nel Grafico 6.6 relativo al giorno 07/04/2017 è osservabile un picco di mercurio in caldaia pari a  $1596 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , non si sono registrate emissioni oltre il limite nella stessa semi-ora.

Come si può rilevare nel Grafico 6.7 sono però avvenuti 5 eventi emissivi oltre i  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  nelle successive 3 ore senza che si presentassero valori allarmanti di Hg in caldaia. HCl presenta un picco alle ore 01:00.



**Grafico 6.8 - Evento anomalo 11/04/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.8 sono osservabili 5 picchi di emissione di mercurio. Tali picchi non presentano valori di Hg in caldaia al di sopra di  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , valore massimo sopportabile nelle condizioni MCR, quindi potenzialmente trattabile dall'impianto di depurazione dei fumi. I valori di HCl presentano dei picchi in contemporanea ad ogni evento emissivo anomalo.



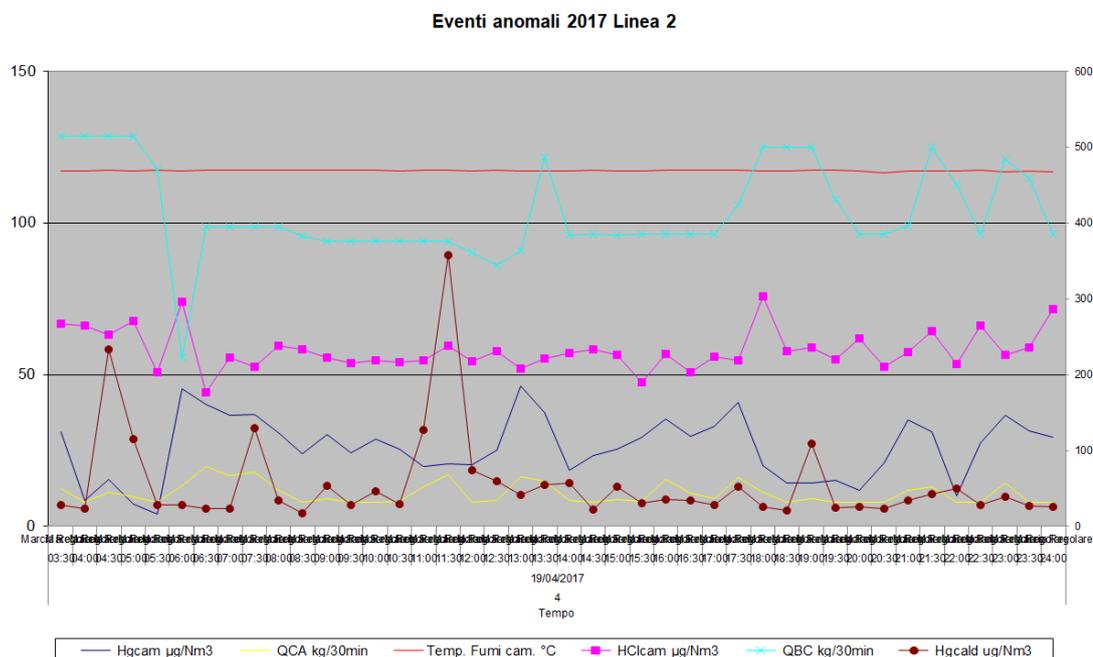
**Grafico 6.9 - Evento anomalo 12/04/2017 Linea 2**

Dal Grafico 6.9 è osservabile alle ore 08:30 un picco di Hg in caldaia del valore di  $1244 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Inoltre si possono rilevare due picchi rispettivamente alle ore 13:30 pari a  $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e successivamente uno alle ore 14:30 pari a  $58 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Emissioni avvenute nonostante il quantitativo di Hg in caldaia fosse al di sotto di  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .

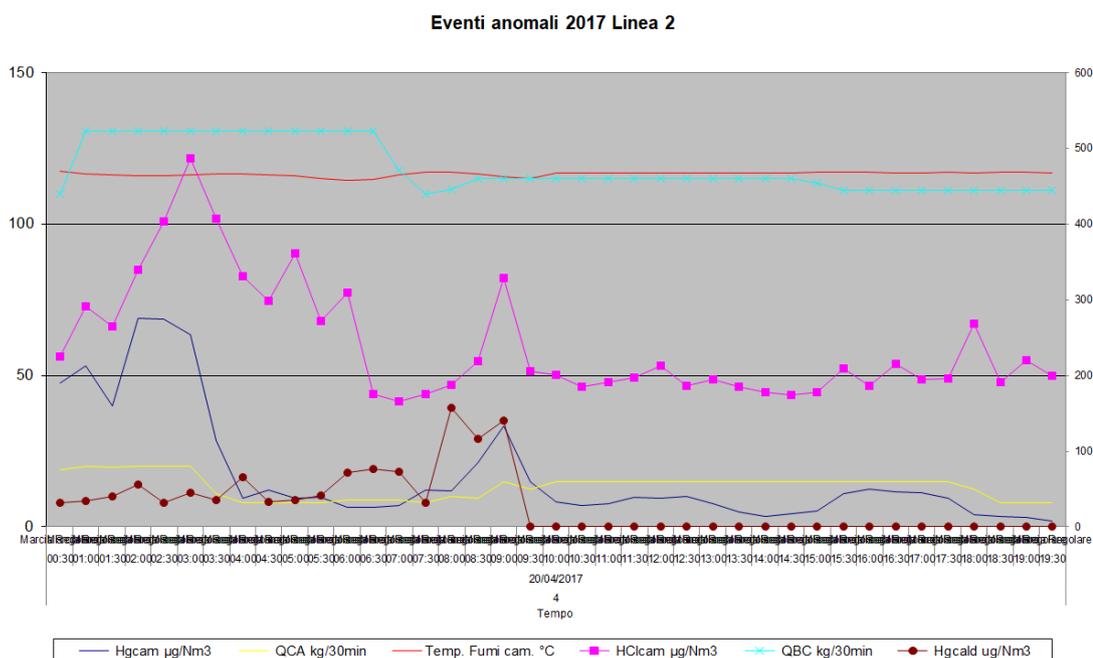
HCl non presenta un andamento collegato alle emissioni di mercurio.



L'andamento di HCl presenta picchi generalmente successivi alla prima semi-ora di ogni periodo emissivo.

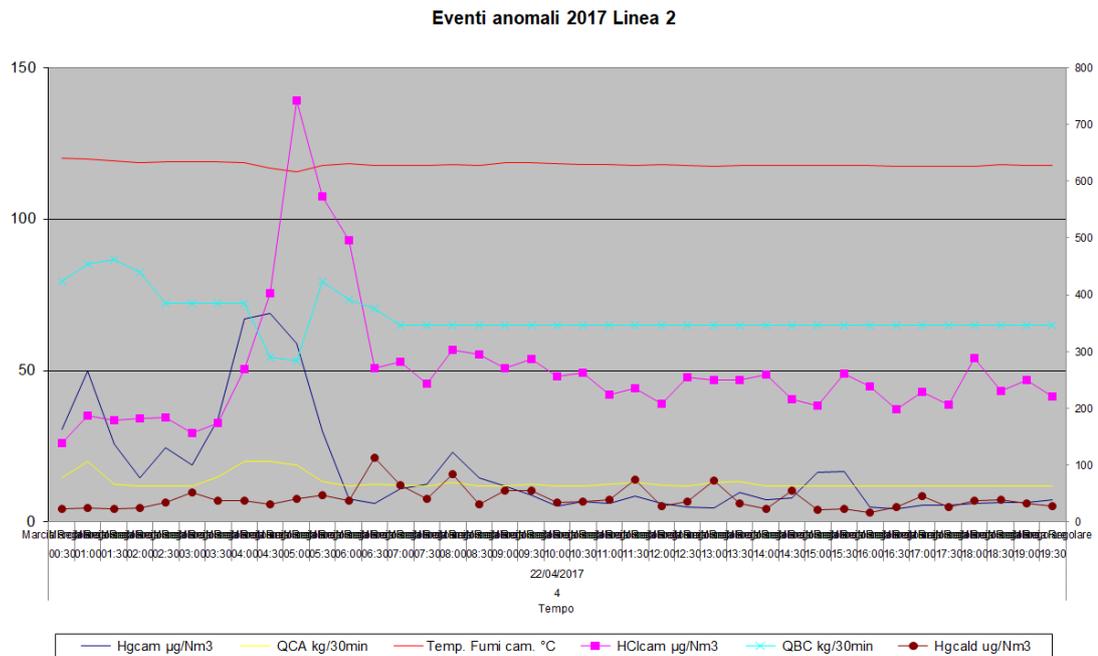


**Grafico 6.12 - Evento anomalo 19/04/2017 Linea 2**



**Grafico 6.13 - Evento anomalo 20/04/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.12 si è registrato un picco di Hg in caldaia alle ore 11:30 pari a  $358 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , che non ha provocato emissioni oltre il limite di Hg a camino nella stessa semi-ora. Sono però osservabili, nel Grafico 6.13, tra le ore 01:00 e le ore 03:00, 4 emissioni anomale di mercurio oltre il limite, in contemporanea ad un aumento di HCl.



**Grafico 6.14 - Evento anomalo 22/04/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.14 è osservabile un rilascio emissivo avvenuto tra le ore 03:30 e le ore 05:00 del 22/04/2017 con un picco alle ore 04:30 pari a  $69 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .

I valori di Hg registrati in caldaia non sono al di sopra dei  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .

L'andamento di HCl presenta un picco pari a  $758 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  avvenuto alle ore 05:00.

Eventi anomali 2017 Linea 2

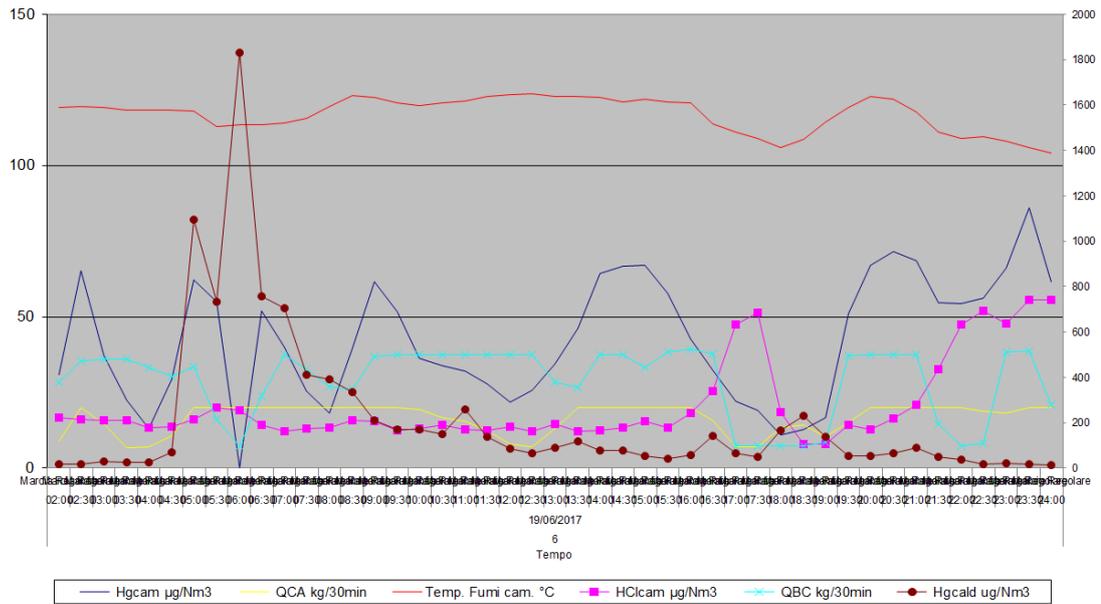


Grafico 6.15 - Evento anomalo 19/06/2017 Linea 2

Eventi anomali 2017 Linea 2

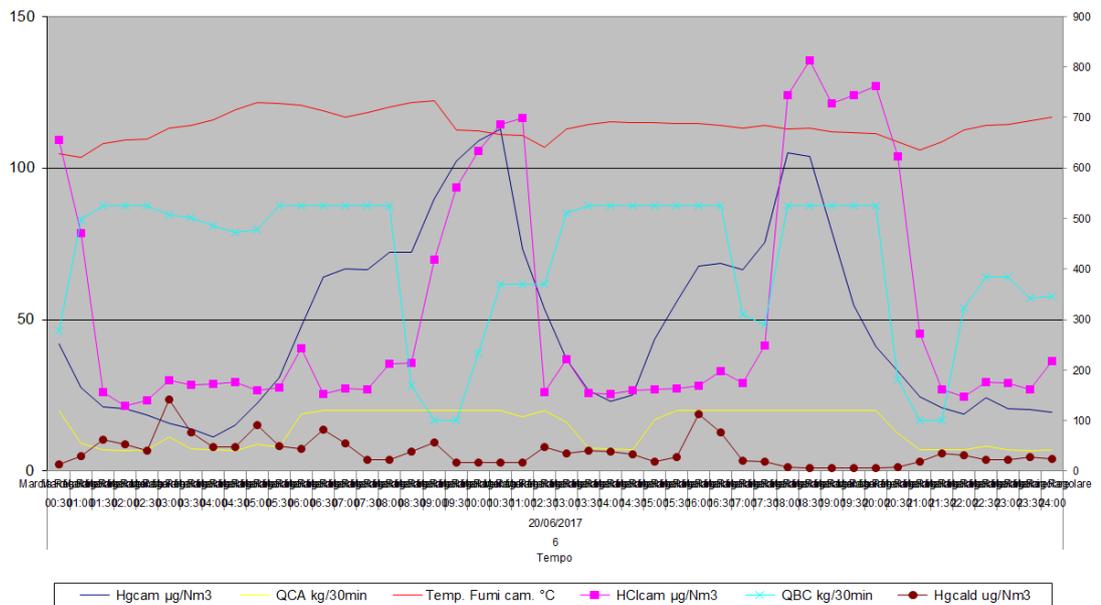
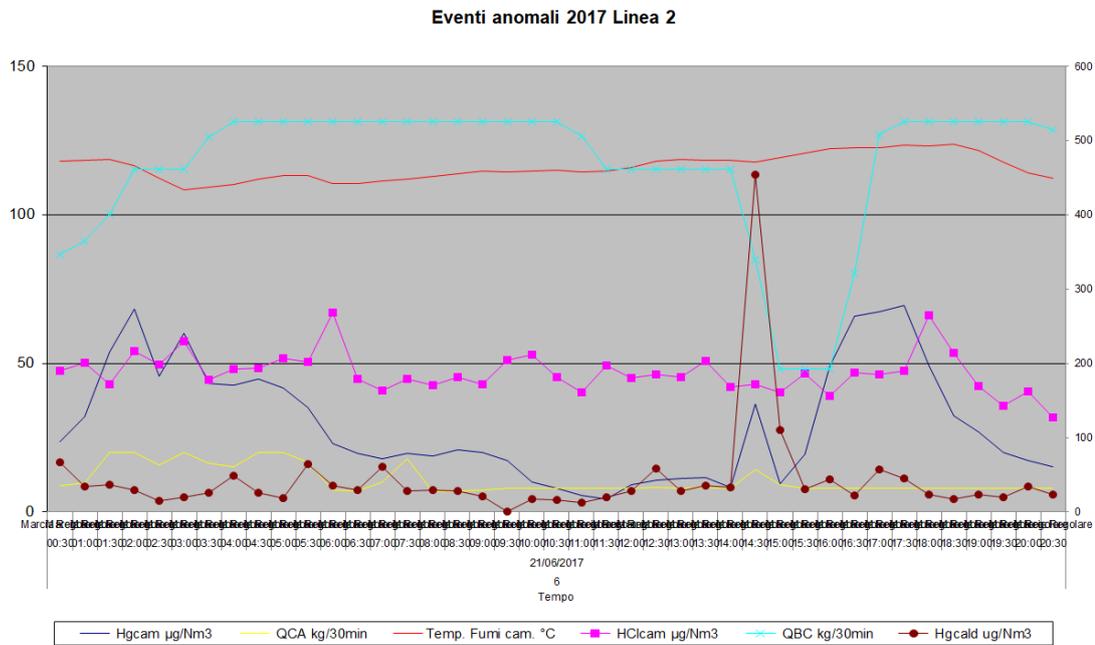


Grafico 6.16 - Evento anomalo 20/06/2017 Linea 2

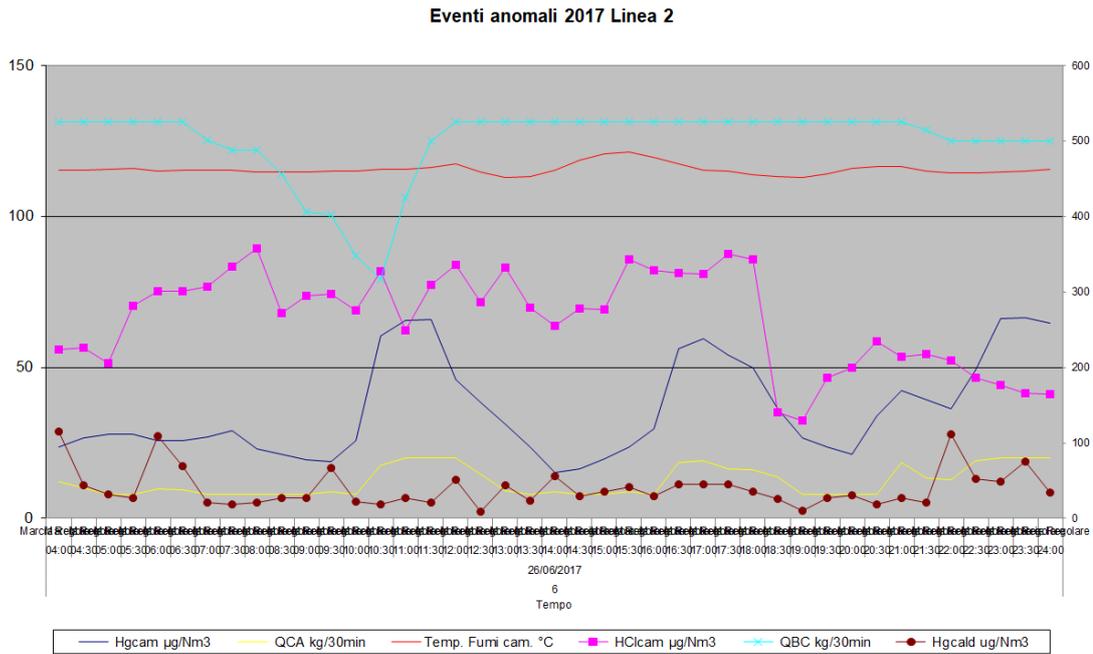


**Grafico 6.17 - Evento anomalo 21/06/2017 Linea 2**

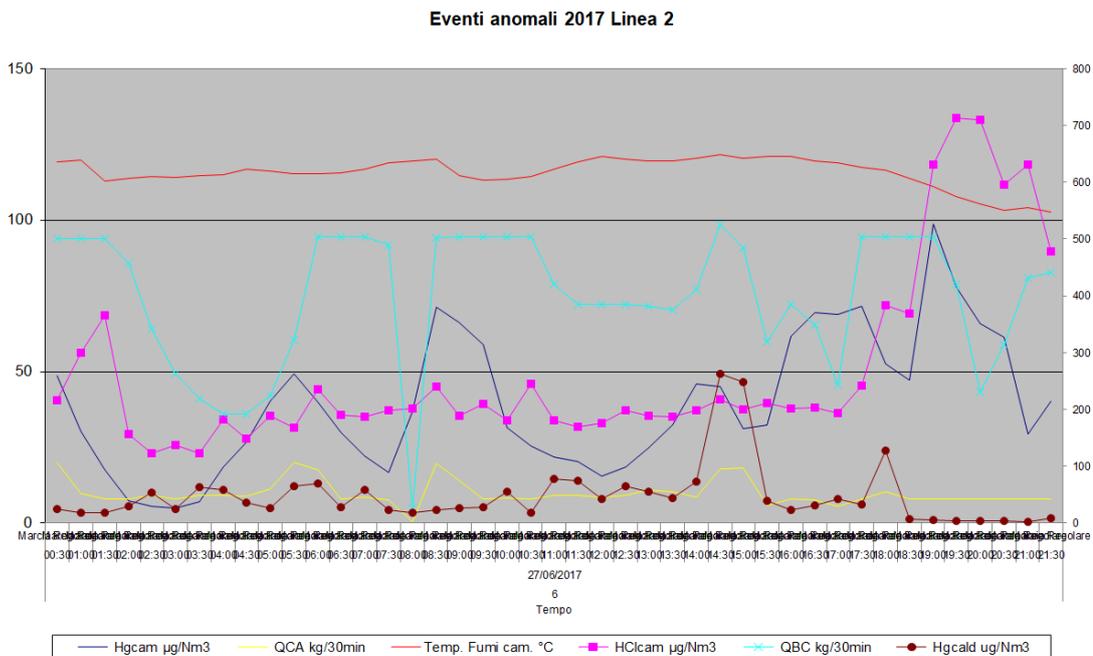
Nel Grafico 6.15 tra le ore 05:00 e le ore 08:00 del 19/06/2017 si possono osservare una moltitudine di picchi di Hg in caldaia, con un massimo pari a 1829  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ; un evento simile è stato rilevato, anche alle ore 14:30 del 21/06/2017 (Grafico 6.17) con un picco di Hg in caldaia pari a 454  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . In entrambi i casi sono state rilevate emissioni anomale di mercurio oltre i 50  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  entro le 8 ore successive.

Mentre nel Grafico 6.16 sono osservabili due casi di potenziale rilascio emissivo. In particolare si possono notare due periodi emissivi di mercurio, di cui il primo registrato tra le ore 06:30 e le ore 12:30 con un picco di 113  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  ed il secondo registrato a partire dalle ore 15:30 alle ore 19:30 con un picco di 105  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ; in entrambi i casi vi è stata un'emissione che ha superato del doppio il valore limite. L'andamento di HCl presenta incrementi sempre successivi alla prima semi-ora in cui ha avuto inizio il periodo di rilascio emissivo.

Notare inoltre che parallelamente a tali picchi il valore di Hg in caldaia è sempre rimasto al di sotto del limite previsto in condizioni MCR.



**Grafico 6.18 - Evento anomalo 26/06/2017 Linea 2**



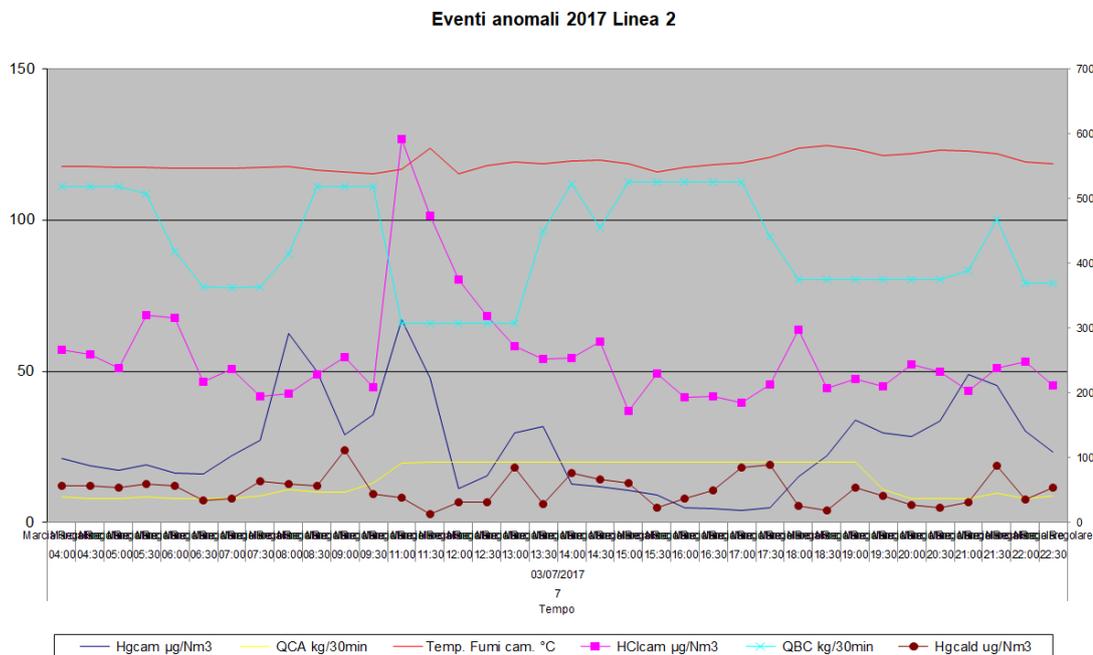
**Grafico 6.19 - Evento anomalo 27/06/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.18 si può notare un rilascio emissivo di Hg tra le ore 10:30 e le ore 11:30, con un picco pari a  $66 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . In tale periodo l'andamento di HCl ha mantenuto un valore pressoché costante.

Successivamente si possono osservare altri due periodi di rilascio emissivo anomalo, in quanto non si sono registrati valori allarmanti di mercurio in caldaia nelle stesse ore.

Nel Grafico 6.19, relativo al giorno seguente, si possono notare due periodi di rilascio emissivo. Il primo avvenuto tra le ore 08:30 e le ore 09:30 con un picco pari

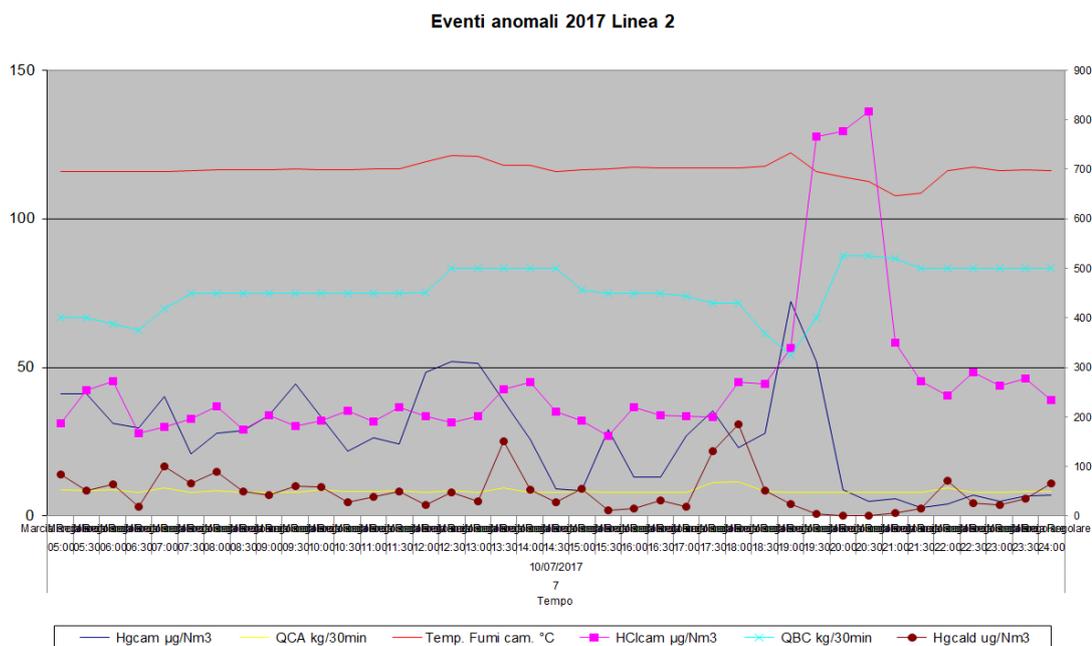
a  $71 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Il secondo avvenuto tra le ore 16:00 e le ore 20:30 con un picco pari a  $98 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Anche tali eventi sono plausibili rilasci emissivi anomali perché anche in questo caso non si sono registrati valori allarmanti di mercurio in caldaia nelle stesse ore. HCl presenta un incremento verificatosi a partire dalle ore 18:00.



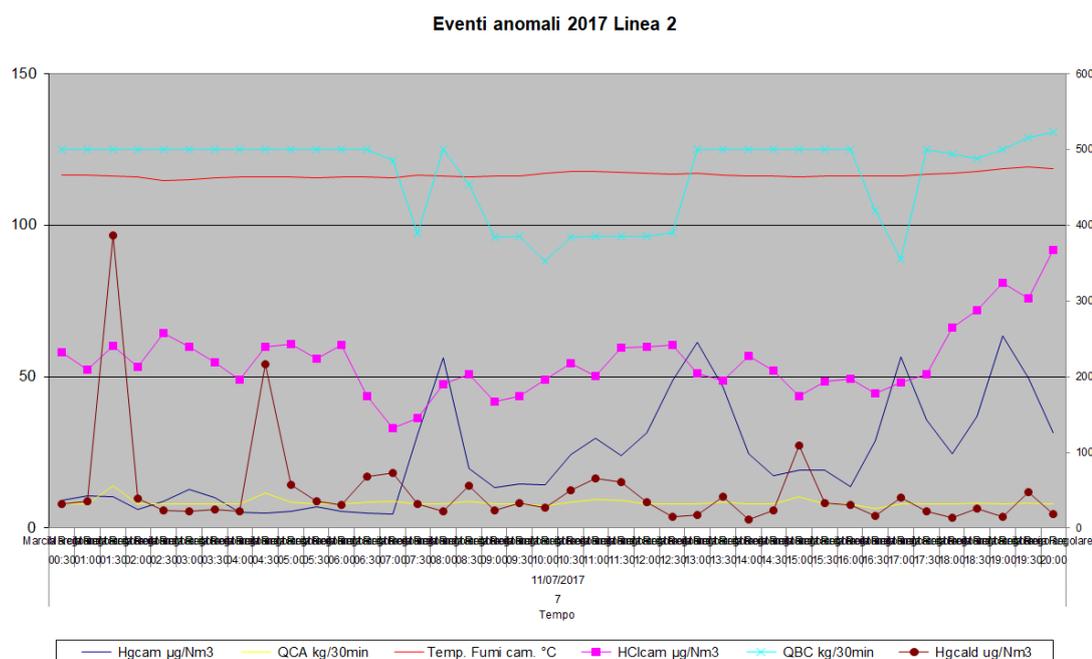
**Grafico 6.20 - Evento anomalo 03/07/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.20 sono osservabile 3 casi di rilascio emissivo anomalo. Il primo avvenuto alle ore 08:00 pari a  $60 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Il secondo, avvenuto alle ore 08:30, pari a  $51 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Infine il terzo, avvenuto alle ore 11:00 pari a  $67 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Anche in questo caso è importante notare che non si sono registrati quantitativi allarmanti di Hg in caldaia.

Per quanto concerne all'andamento di HCl è osservabile un picco avvenuto in contemporanea all'ultimo rilascio emissivo.



**Grafico 6.21 - Evento anomalo 10/07/2017 Linea 2**

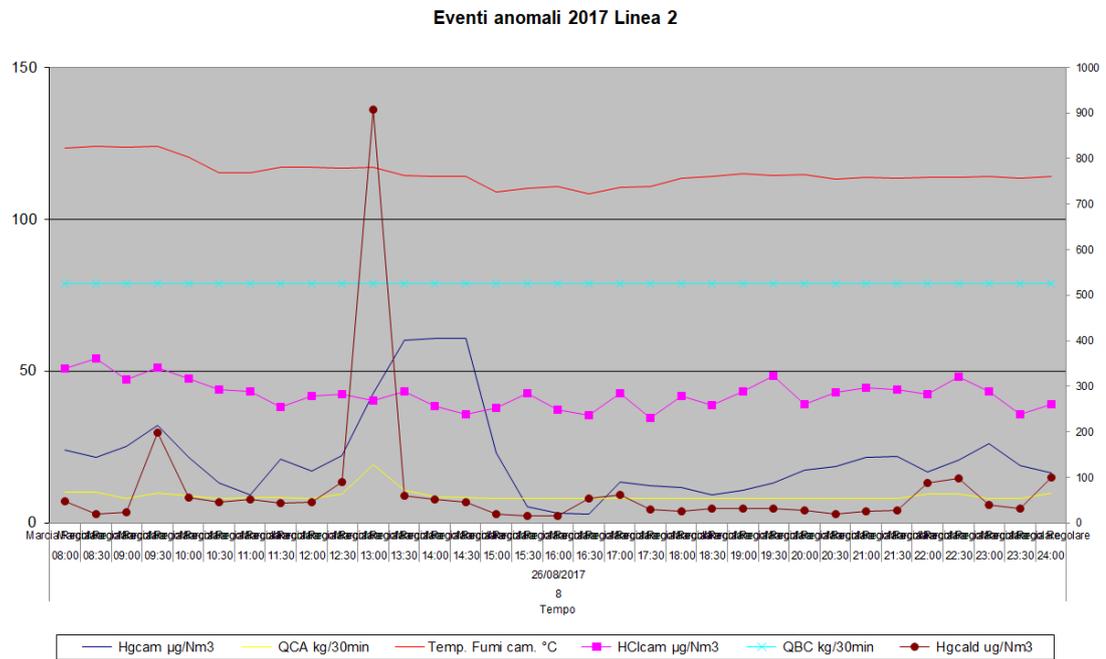


**Grafico 6.22 - Evento anomalo 11/07/2017 Linea 2**

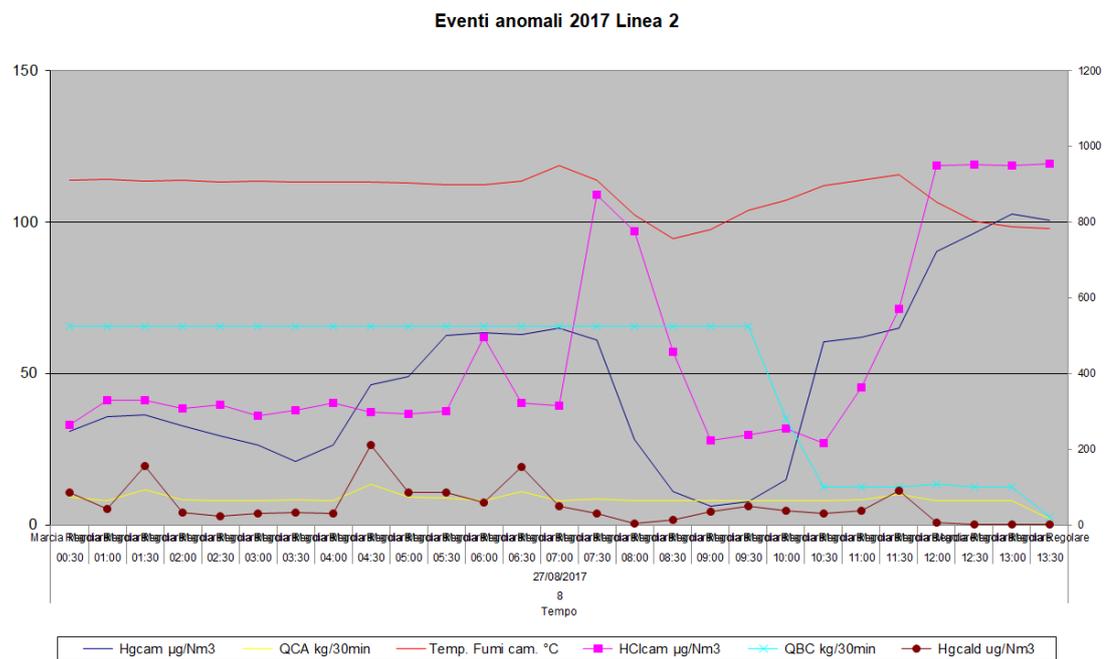
Nel Grafico 6.21 alle ore 19:00 del 10/07/2017 è stato registrato un rilascio emissivo anomalo pari a  $72 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , in seguito, alle ore 19:30, è osservabile un picco di HCl.

Nel Grafico 6.22, relativo al giorno successivo, è osservabile un picco di Hg in caldaia alle ore 01:30 pari a  $386 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e sono state rilevate emissioni anomale di mercurio oltre i  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  entro le 8 ore successive.

I 3 eventi emissivi avvenuti nelle ore seguenti, sono potenziali eventi anomali in quanto i quantitativi di mercurio in caldaia, nelle stesse ore o in quelle adiacenti, non sono stati allarmanti.



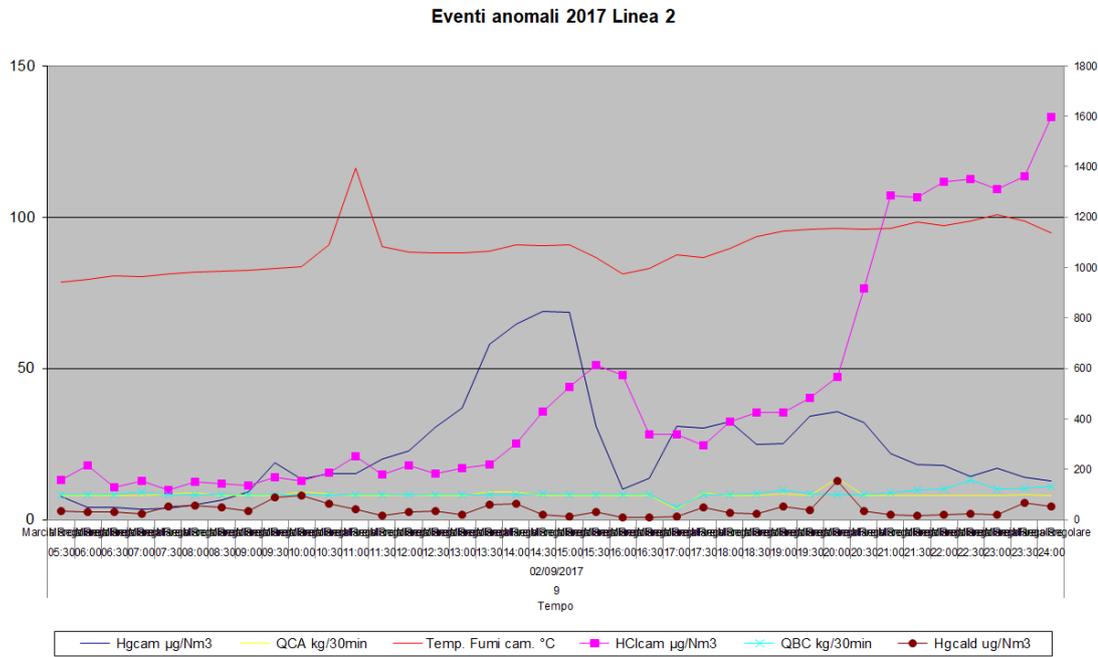
**Grafico 6.23 - Evento anomalo 26/08/2017 Linea 2**



**Grafico 6.24 - Evento anomalo 27/08/2017 Linea 2**

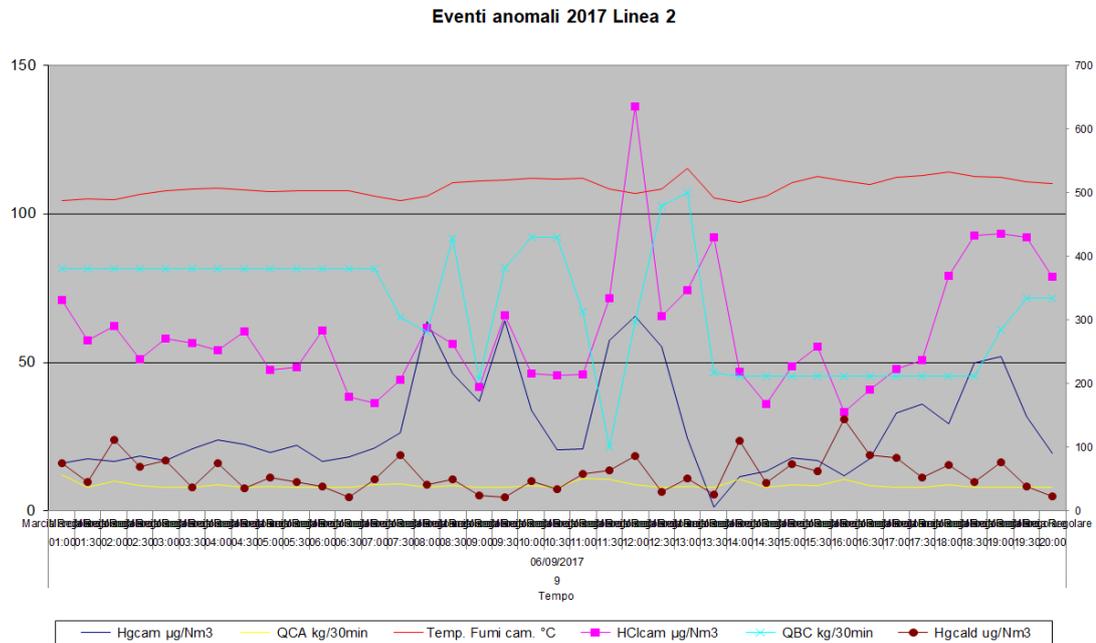
Il 26/08/2017 alle ore 13.00 in Linea 2 si è registrato un picco di mercurio in caldaia pari a  $908 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , nell'ora successiva sono osservabili emissioni di mercurio a camino oltre il limite.

Nel Grafico 6.24 - Evento anomalo 27/08/2017 Linea 2 sono invece osservabili 2 periodi emissivi potenzialmente anomali in quanto il valore di Hg in caldaia è sempre rimasto al di sotto del limite previsto in condizioni MCR. L'andamento di HCl presenta incrementi sempre successivi alla prima semi-ora in cui ha avuto inizio il periodo di rilascio emissivo.



**Grafico 6.25 - Evento anomalo 02/09/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.25 è osservabile un esempio di rilascio emissivo anomalo. Tale rilascio ha raggiunto un picco alle ore 14:30 pari a  $69 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .



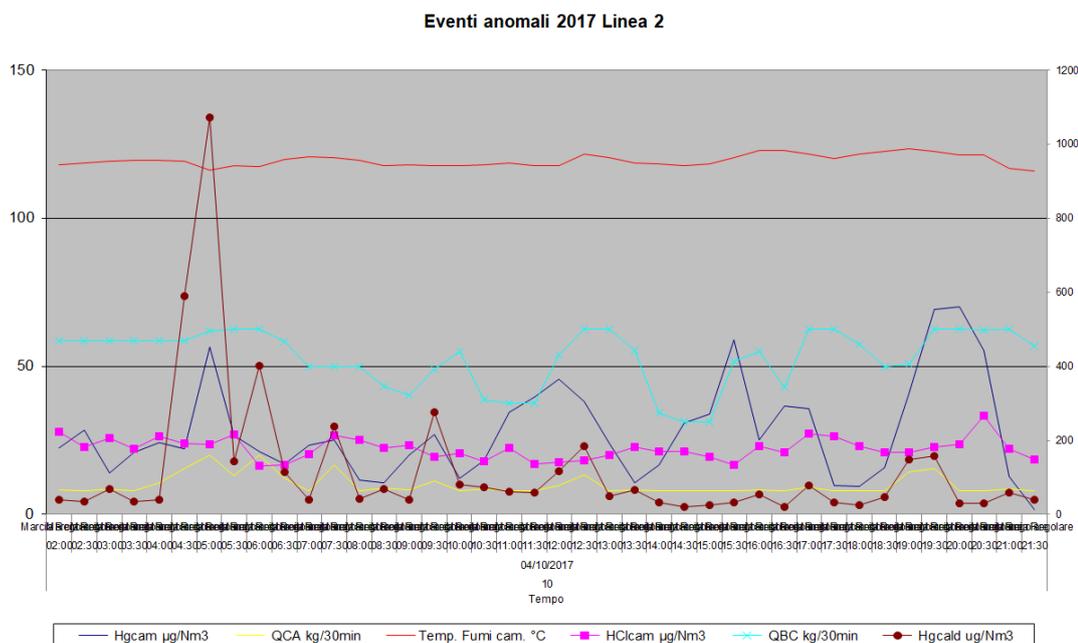
**Grafico 6.26 - Evento anomalo 06/09/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.26 sono osservabili 4 potenziali rilasci emissivi anomali che si sono verificati alle ore:

- 08:00, 09:30 → 64 µg/Nm<sup>3</sup>;
- 11:30 → 57 µg/Nm<sup>3</sup>;
- 12:00 → 65 µg/Nm<sup>3</sup>;
- 12:30 → 55 µg/Nm<sup>3</sup>.

In contemporanea a tali eventi emissivi è importante notare che il quantitativo di Hg in caldaia è sempre rimasto al di sotto del limite previsto in condizioni MCR.

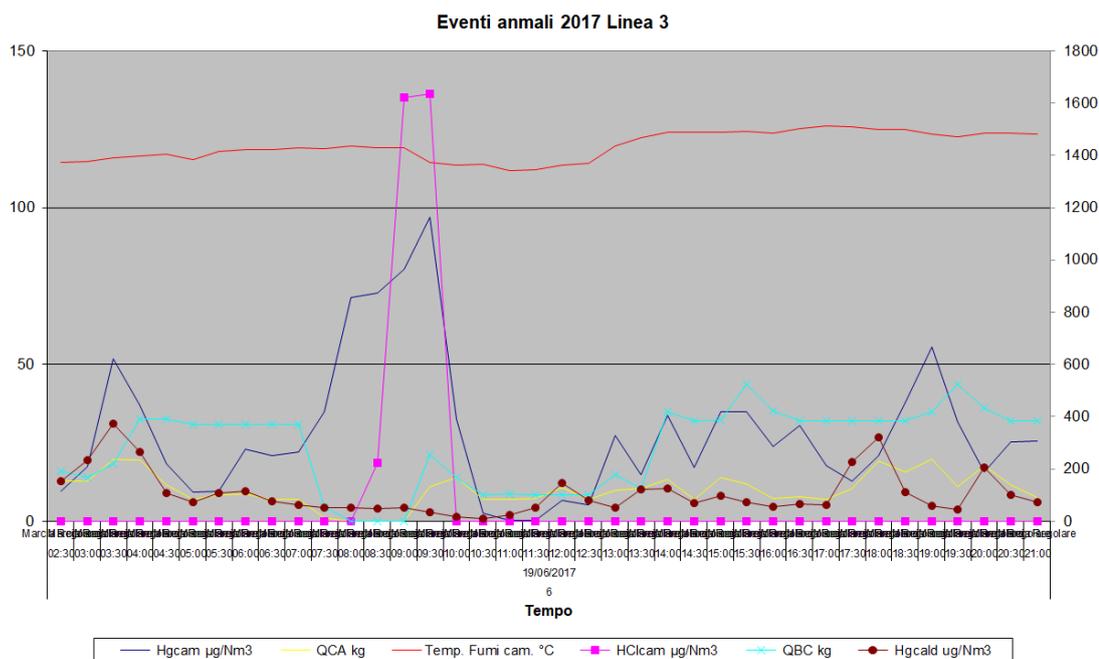
Inoltre si osservano dei picchi di HCl avventi contemporaneamente ai 4 rilasci emissivi.



**Grafico 6.27 - Evento anomalo 04/10/2017 Linea 2**

Nel Grafico 6.27 salta subito all’occhio il picco di Hg in caldaia, avvenuto alle ore 05:00 con un quantitativo pari a  $1071 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Tale picco è stato plausibilmente causa del superamento del valore limite a camino di Hg alle ore 05:00. Successivamente si sono verificati 2 eventi anomali con rilascio di quantitativi di mercurio al di sopra del valore di soglia pari a  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ . Infatti alle ore 15:30 si è registrato un valore di Hg a camino pari a  $59 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e tra le ore 19:30 e le ore 20:30 si sono verificati 3 episodi emissivi di cui il più allarmante ha raggiunto un valore pari a  $70 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  alle ore 20:00:

In tutto questo periodo, cioè dalle ore 15:30 alle 20:00 il quantitativo di Hg in caldaia non ha presentato valori oltre i  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .



**Grafico 6.28 - Evento anomalo 19/06/2017 Linea 3**

Nel Grafico 6.28, relativo alla Linea 3, è osservabile che tra le ore 08:00 e le ore 09:30 sono avvenuti 4 rilasci di mercurio a camino, raggiungendo un picco pari a 97  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  alle ore 09:30. Orario in cui i valori di Hg in caldaia erano accettabili.

HCl presenta un incremento che ha avuto inizio alle ore 09:00.

In conclusione dall'analisi appena svolta si può desumere che si sono osservati principalmente due casi:

- A. Presenza di un picco di Hg in caldaia oltre i 300  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  con conseguente picco Hg a camino nella stessa semi-ora;
- B. Presenza di emissioni anomale di Hg oltre il limite senza registrare la presenza di quantitativi allarmanti di Hg in caldaia nelle stesse semi-ore.

I casi rientrati nella categoria B. sono plausibilmente riconducibili ad un accumulo di mercurio causato dalla contaminazione dei catalizzatori del reattore SCR.

Anche gli incrementi di HCl sono riassumibili in due casi:

- a. Successivi ai picchi di Hg registrati a camino, o al limite
- b. Contemporanei ai picchi di Hg registrati a camino.

Non essendosi quindi rilevati casi di presenza di picchi di HCl a monte delle emissioni anomale Hg, ma solo successivi o al più contemporanei, l'ipotesi esposta da TRM secondo la quale esiste una correlazione tra l'acidità dei fumi (misurabile

con HCl rilevato a camino) ed il rilascio di mercurio dal catalizzatore DeNOx non è quindi validata dall'analisi delle misurazioni effettuate.

## Conclusioni

Il presente elaborato sulla valutazione delle emissioni di mercurio dell'inceneritore di Torino vuole approfondire le tematiche legate alle cause e all'evoluzione della criticità riscontrata a partire dalla fine del 2014 relative ai superamenti emissivi di mercurio monitorati con metodi di misura in continuo (SME). Le concentrazioni rilevate con il sistema SME non hanno valore fiscale in quanto il metodo ufficiale previsto dal D.Lgs. 46/2014 per il controllo del mercurio è la UNI EN 13211:2003 che prevede il campionamento discontinuo, con tale metodologia di misura le emissioni di mercurio dell'impianto, non hanno mai superato i limiti di legge.

È importante sottolineare che in fase di progetto dell'impianto non è stato ipotizzato un quantitativo di mercurio in ingresso per dimensionare l'inceneritore, bensì si è partiti dal valore limite di emissione consentito, calcolando una concentrazione massima potenzialmente trattabile dall'impianto di trattamento fumi in condizioni MCR, pari a  $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ .

Per approfondire il problema in esame si è partiti dallo studio del trattamento primario, ossia dalla gestione e dalla raccolta del rifiuto nel comune di Torino, soffermandosi in modo particolare sulle tipologie di rifiuto che contengono mercurio.

Si è partiti esaminando i documenti di caratterizzazione dei rifiuti, con l'obiettivo di definire il quantitativo di mercurio in ingresso all'impianto.

Dall'esame svolto si è concluso che tale metodologia presenta limiti tecnici nel poter definire un quantitativo preciso e rappresentativo di mercurio in ingresso. In quanto i risultati dei diversi laboratori registrano, a seconda del metodo di analisi e/o delle caratteristiche fisiche dei rifiuti, valori di rilevamento molto diversi tra loro. Inoltre in molti casi il limite di rilevabilità stesso è eccessivamente alto, al punto da non registrare alcuna presenza di Hg al di sopra di 10 ppm. Valore non rappresentativo dato che TRM ha imposto come vincolo l'accettazione dei flussi di rifiuti con un contenuto massimo di mercurio pari a 1 mg/kg, corrispondente a 1 ppm.

Successivamente ci si è proposti di indagare i dati di raccolta dei rifiuti, quali:

- RAEE
- Pile e batterie;

- Rifiuti di amalgama prodotti da interventi odontoiatrici in Regione Piemonte.

Tali rifiuti possono essere contaminati da mercurio e quindi essere causa di sovraccarico della capacità del sistema di abbattimento dell'impianto. Se tali rifiuti raggiungono un tasso di raccolta differenziata soddisfacente verso i centri preposti si riduce il rischio di contaminazione dell'impianto di trattamento fumi dell'inceneritore.

In particolare dai dati di raccolta dei RAEE si è arrivati a concludere che il target Europeo di raccolta differenziata dei RAEE proveniente dai nuclei domestici pari ad almeno 4 kg/ab·anno è correttamente rispettato.

Per quanto attiene a pile e batterie, dallo studio dei dati di raccolta analizzati, si può concludere che il Piemonte è tra le 3 regioni con la maggiore concentrazione di punti di raccolta passati da 176 nel 2014 a 206 nel 2016.

Infine per quanto concerne i rifiuti di amalgama prodotti da interventi odontoiatrici è emerso che dai dati relativi al *Piano dei Rifiuti Speciali della Regione Piemonte*, riguarda la prevalenza di rifiuti con il codice CER 180103 (79,7%), ossia rifiuti che richiedono precauzioni in fase di raccolta e gestione, in quanto possono essere infettivi. Il 12,8% dei rifiuti prodotti è costituito da sostanze pericolose, tra le quali rientrano anche gli amalgami dentali, mentre le altre tipologie di rifiuti quali quelli delle attività radiodiagnostiche, i medicinali di scarto e le altre sostanze non pericolose, rappresentano circa il 7,5% del totale.

Successivamente ci si è soffermati sul trattamento secondario, ossia sull'impianto di depurazione dei fumi, analizzando l'andamento delle emissioni di mercurio ricavati dall'elaborazione dei dati SME a partire dal 10 luglio 2013, fino al 31 dicembre 2017.

Dai grafici analizzati si sono potuti osservare due casi tipici:

3. Presenza di picchi isolati che raggiungono valori di oltre i 350  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ;
4. Presenza di periodi di frequente superamento del valore di 50  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ , anche per tempi superiori ad un mese.

Inoltre vi sono stati periodi in cui si sono registrate emissioni praticamente nulle come ad esempio nel periodo gennaio-aprile 2016.

Il che dimostra la complessa variazione del tipo di rifiuto in ingresso all'impianto, oltre all'evidenza di una presenza di mercurio nei rifiuti conferiti

all'inceneritore, diversamente dalla composizione elementare del rifiuto che venne ipotizzata in fase di progetto.

Successivamente, si è determinato il flusso di massa medio mensile in uscita dal camino. Si sono ottenuti i seguenti risultati:

Flusso di massa annuale totale					Limite annuale
2013	2014	2015	2016	2017	
1575	18729	12748	27312	27312	177390

**Tabella 1 - Flusso di massa annuale [g/anno] dell'impianto e relativo limite autorizzato dalla Città Metropolitana di Torino**

Ci si è poi focalizzati sul numero di volte che il misuratore a camino ha registrato un superamento semi-orario del limite di emissione pari a  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e, solo per il 2017, si è anche calcolato il numero di volte che l'impianto ha superato per più di 1 ora un valore di mercurio  $\geq 700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  in caldaia. Questa soglia è significativa in quanto, come indicato dal gestore, lo scenario di sovraccarico previsto dal progetto riguarda un periodo massimo di 1 ora ogni 24. Quindi superando tale valore di  $700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  per più di un'ora, l'impianto di trattamento fumi non è più in grado di garantire il controllo delle emissioni. Si riportano di seguito i risultati ottenuti:

n° superamenti oltre $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$			
Anno	Linea 1	Linea 2	Linea 3
2013	57	63	57
2014	388	395	448
2015	199	242	73
2016	974	850	1197

**Tabella 2 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  dal 2013 al 2016**

n° superamenti 2017					
Linea 1		Linea 2		Linea 3	
$>50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$>700\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$>50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$>700\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$>50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$	$>700\mu\text{g}/\text{Nm}^3$
328	0	388	5	237	4

**Tabella 3 - Numero di superamenti semi-orari del valore soglia di  $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  e del valore limite di sovraccarico di  $700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  per più di un'ora nel 2017**

Infine, si è effettuata un'analisi dettagliata di dati inerenti ad emissioni anomale in cui si registra una sensibile presenza di Hg a camino in assenza di valori eccezionali in caldaia causando una potenziale contaminazione del reattore SCR.

In particolare si è cercato di confermare quanto indicato da TRM, in merito al controllo delle emissioni anomale di mercurio, attraverso una gestione dell'acidità dei fumi riducendo il quantitativo di bicarbonato di sodio iniettato nel reattore a secco, così da evitare rilasci di mercurio da parte del reattore SCR contaminato.

In conclusione dall'analisi svolta si sono osservati principalmente due casi:

- A. Presenza di un picco di Hg in caldaia oltre i 300  $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$  con conseguente picco Hg a camino nella stessa semi-ora;
- B. Presenza di emissioni anomale di Hg oltre il limite senza registrare la presenza di quantitativi allarmanti di Hg in caldaia nelle stesse semi-ore.

I casi rientrati nella categoria B. sono plausibilmente riconducibili ad un accumulo di mercurio causato dalla contaminazione dei catalizzatori del reattore SCR.

Anche gli incrementi di HCl sono riassumibili in due casi:

- a. Successivi ai picchi di Hg registrati a camino, o al limite
- b. Contemporanei ai picchi di Hg registrati a camino.

Non essendosi quindi rilevati casi di presenza di picchi di HCl a monte delle emissioni anomale Hg, ma solo successivi o al più contemporanei, l'ipotesi esposta da TRM secondo la quale esiste una correlazione tra l'acidità dei fumi (misurabile con HCl rilevato a camino) ed il rilascio di mercurio dal catalizzatore DeNOx non è quindi validata dall'analisi delle misurazioni effettuate.

# Allegati

## Allegato 1 - CARICO MINIMALE : Portata fumi minimale con inquinanti nominali medio giornalieri e con emissioni medio giornalieri

LAB S.A. LYON		TABELLA PFD				Ref : 11065 EA 00 010						
Progetto : TORINO		Pagina 1 / 3		Steso da: LS		Verificato da: FGo		Rev : B		Data : 28/10/2010		
Disegno PFD di riferimento : N2007.0.F.00.000.PBF.000-01												
Pressione atmosferica : 98,2 kPa		<b>CARICO MINIMALE : Portata fumi minimale con inquinanti nominali medio giornalieri e con emissioni medio giornalieri</b>										
FUMI (escluso reagenti)												
Riferimento sul disegno PFD		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Nome		Uscita Caldaia	Uscita Elettrofiltro	Ricirculazione	Ingresso Economizzatore	Uscita Economizzatore	Uscita Reattore secco	Uscita Filtro a maniche	Ingresso DeNOx dopo iniezione NH <sub>3</sub>	Uscita DeNOx	Ingresso Ventilatore tiraggio	Uscita Camino
Portata	Nm <sup>3</sup> /h secco Nm <sup>3</sup> /h umido kg/h umido m <sup>3</sup> /s	65 481 78 280 98 880 39,0	66 260 79 063 99 890 39,3	9 236 11 020 13 923 5,5	57 025 68 043 85 967 33,8	57 025 68 043 85 967 33,2	60 348 71 043 89 839 34,2	61 025 71 723 90 717 35,0	61 696 72 471 91 661 35,5	61 696 72 471 91 661 35,4	61 696 72 471 91 661 30,9	61 696 72 471 91 661 30,3
Temperatura	°C	200	198	198	198	190	183	180	181	178	120	125
Pressione Relativa	kPa	-0,30	-0,34	-0,34	-0,37	-0,42	-0,60	-2,48	-2,63	-2,99	-3,16	0,00
O <sub>2</sub>	% umido % secco	6,54 7,82	6,68 7,97	6,68 7,97	6,68 7,97	6,68 7,97	7,35 8,69	7,48 8,83	7,55 8,91	7,55 8,91	7,55 8,91	7,55 8,91
CO <sub>2</sub>	% umido	9,59	9,50	9,50	9,50	9,50	9,05	8,97	8,91	8,91	8,91	8,91
H <sub>2</sub> O	% umido	16,35	16,19	16,19	16,19	16,19	15,46	15,32	15,27	15,27	15,27	15,27
<b>Tutti i valori sono riferiti all'11% di O<sub>2</sub></b>												
Polveri (incluso reagenti)	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	259 3 000	5,2 60	0,7 60	4,5 60	4,5 60	215 2 888	0,2 3	0,2 3	0,2 3	0,2 3	0,2 3
HCl	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	82 950	82 950	11 950	71 950	71 950	/ /	0,4 5	0,4 5	0,4 5	0,4 5	0,4 5
HF	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	1,4 16	1,4 16	0,2 16	1,2 16	1,2 16	/ /	0,04 0,5	0,04 0,5	0,04 0,5	0,04 0,5	0,04 0,5
SO <sub>2</sub>	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	15 170	15 170	2 170	13 170	13 170	/ /	0,7 10	0,7 10	0,7 10	0,7 10	0,7 10
NOx come NO <sub>2</sub>	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	33 380	33 380	5 380	28 380	28 380	/ /	28 380	28 378	5,3 70	5,3 70	5,3 70
NH <sub>3</sub>	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	/ /	0 0	9,3 125	0,4 5	0,4 5	0,4 5
Metalli pesanti :												
- Cd+Ti	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	0,13 1,5	0,003 0,03	0,0004 0,03	0,002 0,03	0,002 0,03	/ /	0,002 0,03	0,002 0,03	0,002 0,03	0,002 0,03	0,002 0,03
- Hg	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	0,026 0,3	0,026 0,3	0,004 0,3	0,022 0,3	0,022 0,3	/ /	0,004 0,05	0,004 0,05	0,004 0,05	0,004 0,05	0,004 0,05
- Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	9 100	0,17 2,0	0,02 2,0	0,15 2,0	0,15 2,0	/ /	0,02 0,3	0,02 0,3	0,02 0,3	0,02 0,3	0,02 0,3
PCDD/F	mg/h ng/Nm <sup>3</sup> secco	0,35 4	0,35 4	0,05 4	0,30 4	0,30 4	/ /	0,01 0,1	0,01 0,1	0,004 0,05	0,004 0,05	0,004 0,05
Reagenti (valori garantiti)					Aria per trasporto reagenti e pulizia							
Tipo		NaHCO <sub>3</sub> (100%)	NaHCO <sub>3</sub> (100%)	Carbone attivo	NH <sub>3</sub> (100%)	Tipo		Aria per NaHCO <sub>3</sub>	Aria per carbone attivo	Aria pulizia delle maniche		
Riferimento sul disegno PFD		1,1	1,2	2	3							
Portata	kg/h m <sup>3</sup> /h	283 0,28	0 0,00	7,9 0,02	9,3 /	Portata	kg/h Nm <sup>3</sup> /h	3 872 3 000		84 65		
Temperatura	°C	ambiente	ambiente	ambiente	310	Temperatura	°C	ambiente		ambiente		
Pressione	bar	/	/	/	6	Pressione	rel bar	0		2,5 to 6		
Densità	kg/m <sup>3</sup>	1 000	1 000	450	/	Densità	kg/Nm <sup>3</sup>	1,291		1,291		

Residui solidi			
Nome		Generi ESP	PSR
Ref		4	5
Portata	kg/h	254	214
Temperatura	°C	198	180
Densità	kg/m <sup>3</sup>	700	500
Composizione			
Polveri	kg/h	254	4
NaCl	kg/h	/	113
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/h	/	26
NaF	kg/h	/	2,4
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	kg/h	/	54
Insolubili	kg/h	/	6,8
Carbone attivo	kg/h	/	7,9

**Allegato 2 - CARICO MCR : Portata fumi nominale con inquinanti nominali medio giornalieri e con emissioni medio giornalieri**

LAB S.A. LYON		TABELLA PFD				Ref : 11065 EA 00 010						
Progetto : TORINO		Pagina 2 / 3		Stesa da : LS		Verificato da : FGo		Rev : B		Data : 28/10/2010		
Disegno PFD di riferimento : N2007.0.F.00.000.PBF.000-01												
Pressione atmosferica : 98,2 kPa		<b>CARICO MCR : Portata fumi nominale con inquinanti nominali medio giornalieri e con emissioni medio giornalieri</b>										
FUMI (escluso reagenti)												
Riferimento sul disegno PFD		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Nome		Uscita Caldaia	Uscita Elettrofiltro	Ricircolazione	Ingresso Economizzatore	Uscita Economizzatore	Uscita Reattore secco	Uscita Filtro a maniche	Ingresso DeNOx dopo iniezione NH <sub>3</sub>	Uscita DeNOx	Ingresso Ventilatore tiraggio	Uscita Camino
Portata	Nm <sup>3</sup> /h secco	116 470	117 848	15 789	102 059	102 059	105 382	106 588	107 259	107 259	107 259	107 259
	Nm <sup>3</sup> /h umido	138 490	139 875	18 740	121 135	121 135	124 135	125 346	126 094	126 094	126 094	126 094
	kg/h umido	175 311	177 099	23 727	153 372	153 372	157 243	158 807	159 751	159 751	159 751	159 751
	m <sup>3</sup> /s	69,1	69,7	9,3	60,4	59,4	60,7	61,7	62,5	62,7	54,9	53,2
Temperatura	°C	200	198	198	198	190	186	180	181	178	120	129
Pressione Relativa	kPa	-0,50	-0,62	-0,62	-0,72	-0,88	-1,44	-3,36	-3,81	-4,73	-5,25	0,00
O <sub>2</sub>	% umido	6,52	6,66	6,66	6,66	6,66	7,04	7,18	7,22	7,22	7,22	7,22
	% secco	7,75	7,91	7,91	7,91	7,91	8,32	8,46	8,51	8,51	8,51	8,51
CO <sub>2</sub>	% umido	9,69	9,59	9,59	9,59	9,59	9,34	9,25	9,21	9,21	9,21	9,21
	% umido	15,90	15,75	15,75	15,75	15,75	15,34	15,20	15,17	15,17	15,17	15,17
<b>Tutti i valori sono riferiti all'11% di O<sub>2</sub></b>												
Polveri (incluso reagenti)	kg/h	463	9,3	1,2	8,0	8,0	386	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	3 000	60	60	60	60	2 886	3	3	3	3	3
HCl	kg/h	147	147	20	127	127	/	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	950	950	950	950	950	/	5	5	5	5	5
HF	kg/h	2,5	2,5	0,3	2,1	2,1	/	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	16	16	16	16	16	/	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
SO <sub>2</sub>	kg/h	26	26	4	23	23	/	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	170	170	170	170	170	/	10	10	10	10	10
NOx come NO <sub>2</sub>	kg/h	59	59	8	51	51	/	51	51	9,4	9,4	9,4
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	380	380	380	380	380	/	380	379	70	70	70
NH <sub>3</sub>	kg/h	0	0	0	0	0	/	0	16,8	0,7	0,7	0,7
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	0	0	0	0	0	/	0	125	5	5	5
<b>Metalli pesanti :</b>												
- Cd+Ti	kg/h	0,23	0,005	0,001	0,004	0,004	/	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	1,5	0,03	0,03	0,03	0,03	/	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
- Hg	kg/h	0,046	0,046	0,006	0,040	0,040	/	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	/	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
- Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	kg/h	15	0,31	0,04	0,27	0,27	/	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	mg/Nm <sup>3</sup> secco	100	2,0	2,0	2,0	2,0	/	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
PCDD/F	mg/h	0,62	0,62	0,08	0,53	0,53	/	0,01	0,01	0,007	0,007	0,007
	ng/Nm <sup>3</sup> secco	4	4	4	4	4	/	0,1	0,1	0,05	0,05	0,05
Reagenti (valori garantiti)					Aria per trasporto reagenti e pulizia							
Tipo		NaHCO <sub>3</sub> (100%)	NaHCO <sub>3</sub> (100%)	Carbone attivo	NH <sub>3</sub> (100%)	Tipo		Aria per NaHCO <sub>3</sub>	Aria per carbone attivo	Aria pulizia delle maniche		
Riferimento sul disegno PFD		1,1	1,2	2	3							
Portata	kg/h	508	0	13,9	16,8	Portata	kg/h	3 872		84		
	m <sup>3</sup> /h	0,51	0,00	0,03	/		Nm <sup>3</sup> /h	3 000		65		
Temperatura	°C	ambiente	ambiente	ambiente	310	Temperatura	°C	ambiente	ambiente	ambiente		
Pressione	bar	/	/	/	6	Pressione	rel bar	0		2,5 to 6		
Densità	kg/m <sup>3</sup>	1 000	1 000	450	/	Densità	kg/Nm <sup>3</sup>	1,291		1,291		

RESIDUI SOLIDI			
Nome		Ceneri ESP	PSR
ref		4	5
Portata	kg/h	454	385
Temperatura	°C	198	180
Densità	kg/m <sup>3</sup>	700	500
Composizione			
Polveri	kg/h	454	8
NaCl	kg/h	/	203
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/h	/	47
NaF	kg/h	/	4,3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	kg/h	/	96
Insolubili	kg/h	/	12,8
Carbone attivo	kg/h	/	13,9

**Allegato 3 - SOVRACARICO : Portata fumi massimale con inquinanti massimali medio giornalieri e con emissioni medio giornalieri**

LAB S.A. LYON		TABELLA PFD				Ref : 11065 EA 00 010						
Progetto : TORINO		Pagina 3 / 3	Steso da : LS	Verificato da : FGo	Rev : B	Data : 28/10/2010						
Disegno PFD di riferimento : N2007.0.F.00.000.PBF.000-01												
Pressione atmosferica : 98,2 kPa		<b>SOVRACARICO : Portata fumi massimale con inquinanti massimali medio giornalieri e con emissioni medio giornalieri</b>										
FUMI (escluso reagenti)												
Riferimento sul disegno PFD		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Nome		Uscità Caldaia	Uscità Elettrofiltro	Ricirculazione	Ingresso Economizzatore	Uscità Economizzatore	Uscità Reattore secco	Uscità Filtro a maniche	Ingresso DeNOx dopo iniezione NH <sub>3</sub>	Uscità DeNOx	Ingresso Ventilatore tiraggio	Uscità Camino
Portata	Nm <sup>3</sup> /h secco Nm <sup>3</sup> /h umido kg/h umido m <sup>3</sup> /s	131 079 156 830 198 079 81,7	132 639 158 398 200 104 82,4	18 581 22 190 28 032 11,4	114 058 136 208 172 071 70,9	114 058 136 208 172 071 67,0	117 381 139 208 175 943 68,3	118 736 140 570 177 701 69,5	119 408 141 318 178 645 70,5	119 408 141 318 178 645 71,2	119 408 141 318 178 645 62,5	119 408 141 318 178 645 59,9
Temperatura	°C	220	218	218	218	190	186	180	181	178	120	131
Pressione Relativa	kPa	-0,65	-0,81	-0,81	-0,94	-1,15	-1,86	-3,80	-4,36	-5,91	-6,61	0,00
O <sub>2</sub>	% umido % secco	6,48 7,75	6,62 7,91	6,62 7,91	6,62 7,91	6,62 7,91	6,96 8,28	7,10 8,42	7,14 8,47	7,14 8,47	7,14 8,47	7,14 8,47
CO <sub>2</sub>	% umido	9,63	9,53	9,53	9,53	9,53	9,31	9,22	9,19	9,19	9,19	9,19
H <sub>2</sub> O	% umido	16,42	16,26	16,26	16,26	16,26	15,89	15,74	15,71	15,71	15,71	15,71
<b>Tutti i valori sono riferiti all'11% di O<sub>2</sub></b>												
Polveri (incluso reagenti)	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	868 5 000	15,6 90	2,2 90	13,4 90	13,4 90	732 4 904	0,4 3	0,4 3	0,4 3	0,4 3	0,4 3
HCl	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	280 1 500	260 1 500	36 1 500	224 1 500	224 1 500	/	0,7 5	0,7 5	0,7 5	0,7 5	0,7 5
HF	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	4,3 25	4,3 25	0,6 25	3,7 25	3,7 25	/	0,07 0,5	0,07 0,5	0,07 0,5	0,07 0,5	0,07 0,5
SO <sub>2</sub>	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	43 250	43 250	6 250	37 250	37 250	/	1,5 10	1,5 10	1,5 10	1,5 10	1,5 10
NOx come NO <sub>2</sub>	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	66 380	66 380	9 380	57 380	57 380	/	57 380	57 379	10,5 70	10,5 70	10,5 70
NH <sub>3</sub>	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	/	0 0	18,7 125	0,7 5	0,7 5	0,7 5
Metalli pesanti :												
- Cd+Ti	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	0,52 3,0	0,009 0,05	0,001 0,05	0,008 0,05	0,008 0,05	/	0,004 0,03	0,004 0,03	0,004 0,03	0,004 0,03	0,004 0,03
- Hg	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	0,12 0,7	0,12 0,7	0,017 0,7	0,10 0,7	0,10 0,7	/	0,007 0,05	0,007 0,05	0,007 0,05	0,007 0,05	0,007 0,05
- Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	kg/h mg/Nm <sup>3</sup> secco	35 200	0,63 3,6	0,09 3,6	0,54 3,6	0,54 3,6	/	0,04 0,3	0,04 0,3	0,04 0,3	0,04 0,3	0,04 0,3
PCDD/F	mg/h ng/Nm <sup>3</sup> secco	1,74 10	1,74 10	0,24 10	1,49 10	1,49 10	/	0,01 0,1	0,01 0,1	0,007 0,05	0,007 0,05	0,007 0,05
Reagenti (valori garantiti)					Aria per trasporto reagenti e pulizia							
Tipo		NaHCO <sub>3</sub> (100%)	NaHCO <sub>3</sub> (100%)	Carbone attivo	NH <sub>3</sub> (100%)	Tipo		Aria per NaHCO <sub>3</sub>	Aria per carbone attivo	Aria pulizia delle maniche		
Riferimento sul disegno PFD		1,1	1,2	2	3							
Portata	kg/h m <sup>3</sup> /h	952 0,95	0 0,00	36,1 0,08	18,7 /	Portata	kg/h Nm <sup>3</sup> /h	3 872 3 000		84 65		
Temperatura	°C	ambiente	ambiente	ambiente	310	Temperatura	°C	ambiente		ambiente		
Pressione	bar	/	/	/	6	Pressione	rel bar			2,5 to 6		
Densità	kg/m <sup>3</sup>	1 000	1 000	450	/	Densità	kg/Nm <sup>3</sup>	1,291		1,291		

RESIDUI SOLIDI			
Nome		Ceneri ESP	PSR
Ref		4	5
Portata	kg/h	853	732
Temperatura	°C	218	180
Densità	kg/m <sup>3</sup>	700	500
Composizione			
Polveri	kg/h	853	13
NaCl	kg/h	/	358
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/h	/	80
NaF	kg/h	/	7,7
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	kg/h	/	208
Insolubili	kg/h	/	29,5
Carbone attivo	kg/h	/	36,1

Allegato 4 - Risultati delle analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali

RIFIUTI SPECIALI													
Data campionamento	Hg mg/kg	Hg+Cd mg/kg	Metodo di analisi	%RAEE (R1,R2,R3)	%RAEE (R4,R5)	%RAEE	%Pile e batterie	%Altri pericolosi (pile,farmaci...)	Metodo di analisi				
11/11/2015	0,08		UNI EN 13657:2004 + EPA 6010C:2007										
17/12/2015 *	0,1		EPA 3050B:1996+EPA 6010C:2007										
17/12/2015 *	0,1		EPA 3050B:1996 +EPA 6010C:2007										
23/10/2015 *	0,32		UNI EN 13657:2004 + EPA 6020A:2007										
30/12/2016	0,35		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
23/10/2015 *	0,36		UNI EN 13657:2004 + EPA 6020A:2007										
24/09/2013	0,45		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 17294-2:2005										
30/12/2016	0,5		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
16/01/2017	0,56		EPA 3050B:1996 + EPA 6010C:2007										
04/03/2015	0,8		EPA 3050B:1996+EPA 6010C:2007										
14/11/2016	1,2		UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
20/02/2015	2,39		EPA 3050B:1996+EPA 6010C:2007										
03/03/2015	7,33		ICP-OES Met.Uff. UNI EN 13656:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
04/12/2014	<0,01		Analizzatore automatico Met.Uff. EPA 7473:2007										
20/01/2017	<0,01		UNI EN 15411:2011 Met.A+UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
28/01/2017	<0,01		UNI EN 15411:2011 Met.A+UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
03/02/2017	<0,01		UNI EN 15411:2011 Met.A+UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										
10/02/2017	<0,01		UNI EN 15411:2011 Met.A+UNI EN 13657:2004+UNI EN ISO 11885:2009										













## Allegato 5 - Scheda tecnica carbone attivo addittivato



### SCHEMA TECNICA

#### Filtercarb PHC 500 7S

*Carbone Attivo in polvere ottenuto da carbone minerale selezionato impregnato con acido Solforico. La sua granulometria molto fine e la sua porosità sono ideali per la rimozione di inquinanti quali metalli pesanti, in particolare il Mercurio, Diossine e Furani, dai fumi da incenerimento. E' ottenuto mediante attivazione fisica con vapore, in condizioni strettamente controllate*

Parametri	Unità di misura	Valori	Metodi analitici
Area Superficiale	m <sup>2</sup> /g	550 ± 50	BET N2
Contenuto in ceneri	%	13 ± 2	ASTM/CEFIC
Densità in mucchio	g/cm <sup>3</sup>	0,55-0,60	ASTM/CEFIC
Umidità all'imbollo	% max	5	ASTM/CEFIC
Classe di Esplosività		St1	VDI-2263
Temperatura di Ignizione		>450 °C	VDI-2263
Volatili	% wt	3 ± 2	ASTM/CEFIC
Acido Solforico	% wt	7	ASTM/CEFIC
Distribuzione granulometrica:			Setacciatura ad umido
<90 µm	% wt	95	
d <sub>50</sub>	µm	25	

#### SPECIFICHE STANDARD

#### IMBALLO:

FILTERCARB PHC 500 7S può essere fornito in sacchetti da 25 Kg su palette, sacconi da 500 Kg su palette o sfuso in autocisterna.

Data di emissione 2 Gennaio 2015



CARBONITALIA S.r.l.  
C.C.I.A.A. Livorno - CF.P.IVA N. 01556150496  
Iscrizione R.E.A. LI - 137838  
www.carbonitalia.com - info@carbonitalia.com

Sede Legale  
Scali D'Azeglio 32,  
57123 - Livorno - Italy  
Tel. +39.0586.27333 - Fax. +39.0586.273370

Sede Operativa  
Via Emanuelli SN - Loc. Piano di Valeriano  
19020 Vezzano Ligure (Sp) - Italy  
Tel. +39.0187.991007 - Fax. +39.0187.991203



## Allegato 6 - Scheda tecnica analizzatore mercurio totale

**DURAG GROUPE**

### HM-1400 TRX

analizzatore di mercurio totale



Sistema automatico di misura (SME) omologato secondo la EN 15267 per l'analisi in continuo del mercurio nei fumi o nei gas di processo.

#### OVERVIEW

- continuous measurement
- measurement principle allows Hg speciation
- automatic reference point check with internal HgCl<sub>2</sub> calibration gas generator
- no extremely heated components, easy to maintain
- QAL1 certified according to EN 15267
- quick and easy exchange of reactor material
- suitable for process measurement in raw gases
- remote access option

#### APPLICAZIONI

- Inceneritori di rifiuti
- Inceneritori di fanghi di depurazione
- Inceneritori di rifiuti speciali
- Acciaierie con ricondizionamento dei rottami
- Bonifica delle discariche (pulizia termica dei suoli)
- Crematori
- Raffinerie e miniere di mercurio
- Riciclaggio di lampadine fluorescenti

## CERTIFICAZIONI



## TECHNICAL DATA

### HM-1400 TRX application data

flue gas type	air, flue gas, non-flammable process gas
flue gas temperature	up to 300 °C
inner duct pressure	-50 ... +20 hPa
flue gas relative humidity	0 ... 100 % rel. humidity
duct inner diameter	> 500 mm

### HM-1400 TRX general

measuring principle	cold vapour atomic absorption spectroscopy (CVAAS) with means of a dual beam UV photometer after conversion of ionic mercury to elemental mercury
conformities	CE IED 2010/75/EU
certificates	CE QAL1 EN 15267-1:2009, EN 15267-2:2009, EN 15267-3:2008, EN 14181:2015
construction	extractive analyser, distance between sample probe and analyser: 1 ... 40 m
measuring sequence	continuously
system components	HM-1400 S T sample tube, heated or not heated (3) HM-1400 S P sample probe with heated filter HM-1400 PL heated sample line HM-1400 TRX analyzer
control functions	automatic leak check automatic zero point check with automatic zero point check with ambient air automatic reference point check with HgCl <sub>2</sub> calibration gas generated with internal reference gas generator

	manual reference point check with external calibration gas generator
sample flow rate	minimum: 70 l/h normal: 100 l/h maximum: 130 l/h
delay time	typ. < 170 s (at V/t = 70l/h and with 10m sample line)

### HM-1400 TRX technical data of the analyser

measurements	total mercury concentration $Hg_{total}$ after calibration with standard reference method (2)
measuring range $Hg_{total}$	3
output range $Hg_{total}$	Output range freely programmable. Any range within the measuring range can be assigned to the analogue output
certified measuring ranges	3 3
process connection	flange similar to DN65 PN6, tube d=76 mm
analogue outputs	2x 4 ... 20 mA, max. 500 Ohm, capable of being parameterized
digital outputs	9x contact NC/NO, function capable of being parameterized
digital inputs	8x status input, function capable of being parameterized
power supply	230/400 V 3x25A, N, PE 50 Hz max. 10kVA or 230V 1x25A, N, PE 50 Hz max. 5kVA (1)
instrument air supply	input pressure > 3 ... 8 bar, max. 500 l/h (in calibration gas operation) input pressure > 3 ... 13 bar, max. 100 l/h (in measurement operation with dilution) (1)
dimensions	sheet steel cabinet, RAL 7035, hxwxd ca: 1700 x 800 x 500mm, others on request
operation	operating panel in front door with display, remote access for DURAG service by TCP/IP as an option (1)
ambient temperature	-20 ... +50 °C at sampling point +5 ... +40 °C / +50 °C (1) at location of the analyzer
IP protection (EN 60529)	IP54
dimensions (hxwxd)	1700 x 800 x 500 mm
weight	approx. 220 kg
material	sheet steel, painted

## HM-1400 TRX sample system

sample probe	sample probe with inside heated filter element and inlet for heated test gas, PT 100 temperature sensor, controlled by HM-1400 TRX, 230V L, N, PE 50/60Hz, 650VA
sample tube	variations: not heated, length 1000 or 1500mm heated, length 180, 600, 1000 or 1500mm power 230VAC L,N,PE 600/800/1200 W / PT 100 supplied by HM-1400 TRX (1)
sample line	temperature controlled 200°C heated sample line, IP 65 power supply 230V L,N,PE, 50-60 Hz, 90-100 W/m

## remarks

	subject to technical modifications!
(1)	Variants / Options
(2)	The HM-1400 TRX extracts sample from the process, removes H <sub>2</sub> O by condensation inside a cooler and standardizes the result with respect to T and P.
(3)	If the stack gas temperature is < 200 °C then a heated sample tube is recommended, because the species HgCl <sub>2</sub> is absorbed by surfaces with T < 140°C.

undefined

## Indice delle figure

Figura 1.1 - Inquadramento territoriale TRM .....	2
Figura 1.2 - TRM vista dall'alto .....	2
Figura 1.3. TRM vista frontale.....	2
Figura 3.1 - Schema del ciclo del mercurio in ambiente .....	93
Figura 3.2 - Schema concettuale della diffusione del mercurio in ambiente e dei percorsi di migrazione principali con cui si realizza l'esposizione per i ricettori umani.....	100
Figura 3.3 - GHS09 Pericolo ambiente acquatico.....	104
Figura 3.4 - GHS08 Rischio mutageno, respiratorio, cancerogeno e per la riproduzione .....	104
Figura 3.5 - GHS06 Tossicità acuta 1, 2, 3 .....	104
Figura 4.1 - Schema illustrativo dell'impianto di trattamento dei fumi.....	105
Figura 4.2. Schema illustrativo del funzionamento dell'elettrofiltro .....	106
Figura 4.3. Foto illustrativa del reattore a secco .....	107
Figura 4.4. Schema illustrativo di un filtro a maniche.....	109
Figura 4.5. Schema illustrativo di funzionamento del reattore catalitico .....	112
Figura 4.6. Schema illustrativo e immagine del ventilatore di tiraggio .....	114

## Indice delle tabelle

Tabella 2.1 - Primo impatto della selezione dei rifiuti sui rifiuti residui .....	9
Tabella 2.2 - Composizione elementare del rifiuto.....	12
Tabella 2.3 - Flusso di massa di mercurio in uscita dalla caldaia.....	13
Tabella 2.4 - Quantità di mercurio presente nella composizione elementare del rifiuto in ingresso per i diversi stati di carico dell'impianto.....	13
Tabella 2.5 - Efficienza di rimozione del mercurio da adsorbimento su carbone attivo.....	14
Tabella 2.6 - Flusso di massa di mercurio in uscita dal camino .....	14
Tabella 2.7 - Valori di portata a secco in uscita dal camino e relative percentuali di O <sub>2</sub> in condizioni secche .....	16
Tabella 2.8 - Portata a secco in uscita dal camino riferita all'11% di O <sub>2</sub> .....	16
Tabella 2.9 - Risultati delle analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali aventi esito .....	18
Tabella 2.10 – Risultati congiunti di Hg+Cd delle analisi di caratterizzazione dei rifiuti speciali aventi esito .....	20
Tabella 2.11 - Quantitativi di RAEE domestici raccolti annualmente a Torino, espressi dal CdC.....	26
Tabella 2.12 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2013 .....	27
Tabella 2.13 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2014 .....	27
Tabella 2.14 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2015 .....	27
Tabella 2.15 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 a Torino nell'anno 2016 .....	27
Tabella 2.16 - Dati di raccolta e recupero del 2013 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino.....	28

Tabella 2.17 - Dati di raccolta e recupero del 2014 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino.....	28
Tabella 2.18 - Dati di raccolta e recupero del 2015 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino.....	28
Tabella 2.19 - Dati di raccolta e recupero del 2016 espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti città metropolitana di Torino.....	28
Tabella 2.20 - Quantitativi di RAEE domestici raccolti annualmente in Regione Piemonte, espressi dal CdC.....	29
Tabella 2.21 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2013, e rispettivo conseguimento del target UE.....	29
Tabella 2.22 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2014, e rispettivo conseguimento del target UE.....	29
Tabella 2.23 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2015, e rispettivo conseguimento del target UE.....	29
Tabella 2.24 - Dati di dettaglio di raccolta dei RAEE suddivisi nei 5 raggruppamenti definiti all'Allegato I del regolamento 25 settembre 2007, n. 185 in Piemonte nell'anno 2016, e rispettivo conseguimento del target UE.....	29
Tabella 2.25 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2013 .....	31
Tabella 2.26 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2014 .....	31
Tabella 2.27 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2015 .....	31

Tabella 2.28 - Dati di raccolta e recupero espressi dai Documenti annuali di Gestione e Produzione rifiuti emanati dalla Regione Piemonte inerenti alla regione stessa, e rispettivo conseguimento del target UE nel 2016 .....	32
Tabella 2.29 - Elenco dei codici CER dei RAEE considerati dal piano rifiuti speciali della Regione Piemonte e relative descrizioni .....	33
Tabella 2.30 - Dati di raccolta e trattamento dei RAEE professionali del 2013 emessi dalla Regione Piemonte.....	33
Tabella 2.31 - Dati annuali di raccolta di pile e accumulatori dei consorzi della provincia di Torino, espressi dalla Città Metropolitana di Torino.....	38
Tabella 2.32 - Dati annuali di raccolta di pile e accumulatori portatili nel Piemonte, espressi dal CDCNPA.....	39
Tabella 2.33 - Numero dei distributori e dei centri di raccolta di Pile e Accumulatori della Regione Piemonte dal 2014 al 2016.....	39
Tabella 3.1 - Flusso di massa annuale [g/anno] dell'impianto e relativo limite autorizzato dalla Città Metropolitana di Torino.....	85
Tabella 3.2 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ nel 2013.....	86
Tabella 3.3 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ nel 2014.....	86
Tabella 3.4 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ nel 2015.....	86
Tabella 3.5 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ nel 2016.....	86
Tabella 3.6 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ e del valore limite di sovraccarico di $700 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ per più di un'ora nel 2017 .....	86
Tabella 3.7 - Campionamenti di mercurio eseguiti per controlli fiscali .....	87
Tabella 3.8 - Proprietà fisiche dei principali composti contenenti mercurio. “insol.” indica l’insolubilità o la quasi totale insolubilità. Gli spazi bianche indicano mancanza di dati disponibili (Davis, Bloom & Que Hee, 1997; Patnaik, 2007) .....	91
Tabella 3.9 - Classificazione del mercurio secondo regolamento CLP -.....	103
Tabella 6.1 - Numero di eventi semiorari in cui si sono registrati meno di $300 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ di Hg al misuratore di processo e più di $50 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ al misuratore a camino .....	121

Tabella 1 -Flusso di massa annuale [g/anno] dell'impianto e relativo limite autorizzato dalla Città Metropolitana di Torino.....	151
Tabella 2 - Numero di superamenti semiorari del valore soglia di 50 µg/Nm3 dal 2013 al 2016.....	151
Tabella 3 - Numero di superamenti semi-orari del valore soglia di 50 µg/Nm3 e del valore limite di sovraccarico di 700 µg/Nm3 per più di un'ora nel 2017.....	151

## Bibliografia

- TRM (2010), *Allegato A038-2007.0.F.00.000.PES.000-00 Descrizione funzionamento trattamento fumi*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2012), Torino, pp. 5-18.
- NOVAMBIENTE (2017), Filtro elettrostatico, <[https://it.wikipedia.org/wiki/Filtro\\_elettrostatico](https://it.wikipedia.org/wiki/Filtro_elettrostatico)>.
- ENCICLOPEDIA TRECCANI (2018), Economizzatore, <<http://www.treccani.it/enciclopedia/economizzatore/>>.
- SIRAM BY VEOLIA (2018), Economizzatori e recuperatori termici, <<http://www.siram.it/Tecnologie/Impianti-Termici-E-Di-Climatizzazione/Economizzatori-E-Recuperatori-Termici/Economizzatori-E-Recuperatori-Termici.kl>>.
- Ing.DANIELE V. (2017), *Presentazione dell'inceneritore di Torino*, Torino
- Gianfranco Fabbri (1992), *La trasformazione chimica. Chimica fisica per corsi annuali e semestrali*, Piccin, pp. 223-234, <<https://it.wikipedia.org/wiki/Catalisi>>.
- TRM (2011), *Allegato A006-2005.0.O.00.000.GPD.100-03\_Relazione illustrativa*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2012), Torino, pp. 6-14.
- TRM (2011), *Allegato A037-2007.0.O.00.000.PAA.003-00\_Analisi Fumi-Sistema Caldaia camino*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2012), Torino, pp. 3-16.
- TRM (2006), *Allegato A4-02005.0.O.00.000.GPD.660-00\_Studio di impatto ambientale Sintesi non tecnica*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2006), Torino, pp. 9-54.
- TRM (2011), *Allegato A009-2005.0.O.00.H00.PES.004-05\_Descrizione del processo*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2012), Torino, pp. 3-10.
- EUROPEAN COMMISSION (2006), *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, Integrated Pollution Prevention and Control*.
- CAVAGNARI V. e VERDERIO O., *Studio di fattibilità della conversione in funzionamento cogenerativo del termovalorizzatore Silea di Valmadrera (LC) con realizzazione di una rete di teleriscaldamento*. [Tesi di laurea, Politecnico di Milano, a.a. 2009/2010], (a cura di)Prof. Campanari S., Milano, pp 2-22.
- TRM (2010), *Allegato N2007.0.F.00.HTO.PBD.001\_01\_Tabella\_valori\_attesi*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2012), Torino, pp. 2.

- Arch. FOIETTA P., Ing. TEDESCO V. e Dott.ssa MICELI S. (2006), *Il termovalorizzatore della zona nord della provincia di Torino*, in ATO-R, Torino, pp. 17-46.
- TRM (2017), *Relazione di riscontro alle richieste di integrazioni formulate dalla città metropolitana di Torino Prot. 58489/LB7/CM*, in PROCEDIMENTO DI RIESAME DELL'AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE (2017), Torino, pp. 5-25.
- TRM (2010), *Allegato A040-2007.0.F. ++.HT0.PCM.001-03 Tabella valori MCR min\_sovrac\_PFD*, in IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE DEI RIFIUTI DELLA PROVINCIA DI TORINO PROGETTO COSTRUTTIVO (2012), Torino, pp. 2-4.
- REGIONE PIEMONTE (2014), *Allegato 1*, in PROGETTO PIANO REGIONALE DEI RIFIUTI SPECIALI (2014), (a cura di) Accotto E., ARPA PIEMONTE, Barberis R., Bergero P., Bianco C., Bottin R., Ccaddeo S., Calderaro E., Celauro A., Laccisaglia A., Penna P., Scarrone C., Torino, pp. 1-7, 177-190, 204-224.
- ECOCERVED (2017), *Guida alla gestione dei RAEE*, (promosso da) Camera di Commercio industria artigianato e agricoltura di Torino, (a cura di) Masotti M., Schembari E., Torino, pp. 2-20,  
[https://www.to.camcom.it/sites/default/files/ambiente/U1292\\_2017\\_2017-Guida\\_RAEE\\_To.pdf](https://www.to.camcom.it/sites/default/files/ambiente/U1292_2017_2017-Guida_RAEE_To.pdf).
- REGIONE PIEMONTE (2017), Regione Piemonte modello virtuoso per la gestione dei RAEE, Comunicato stampa Giunta regionale Piemonte, pp. 1-3.
- REGIONE PIEMONTE (2016), Piano regionale di gestione dei rifiuti urbani e dei fanghi di depurazione, *Deliberazione del Consiglio regionale 19 aprile 2016, n. 140 – 14161*, pp. 12-50.
- CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2013), *La raccolta dei RAEE nel corso del 2013, La raccolta nelle Regioni Italiane, La raccolta dei 5 raggruppamenti*, CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2013), Rapporto annuale 2013 - Ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche in Italia, pp. 16-17, 18-19, 20-22.
- CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2014), *La raccolta dei RAEE nel corso del 2014, La raccolta nelle Regioni Italiane, La raccolta dei 5 raggruppamenti*, CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2014), Rapporto annuale 2014 - Ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche in Italia, pp. 18-19, 20-21, 23-25.
- CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2015), *La raccolta dei RAEE nel corso del 2015, La raccolta nelle Regioni Italiane, La raccolta dei 5 raggruppamenti*, CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2015), Rapporto annuale 2015 - Ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche in Italia, pp. 14-15, 16-17, 19-21.
- CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2016), *La raccolta dei RAEE nel corso del 2016, La raccolta nelle Regioni Italiane, La raccolta dei 5 raggruppamenti*, CENTRO DI COORDINAMENTO RAEE (2016), Rapporto annuale 2016 - Ritiro e trattamento dei rifiuti da apparecchiature elettriche ed elettroniche in Italia, pp. 13-14, 15-16, 17-18.
- REGIONE PIEMONTE (2013), *I rifiuti urbani prodotti in Regione Piemonte, Dettaglio sulla raccolte differenziate, Schede di analisi della produzione dei*

- rifiuti a livello regionale e provinciale*, Produzione e gestione dei rifiuti – Rifiuti urbani (2013), (a cura di)Bergero P., Bottin R., Celauro A., Penna P., Torino, pp. 8,14,28-38.
- REGIONE PIEMONTE (2014), *I rifiuti urbani prodotti in Regione Piemonte, Dettaglio sulla raccolte differenziate, Schede di analisi della produzione dei rifiuti a livello regionale e provinciale*, Produzione e gestione dei rifiuti – Rifiuti urbani (2014), (a cura di)Bergero P., Bottin R., Celauro A., Penna P., Torino, pp. 8,12,25-39.
  - REGIONE PIEMONTE (2017), *Approvazione dei dati di produzione rifiuti urbani e di raccolta differenziata relativi al 2015 - Deliberazione della Giunta Regionale 19 dicembre 2016, n. 54-4421 L.R. 24/2002 art. 13 e 17, D.G.R. n. 43-435 del 19.7.2000 e s.m.i.*, Torino.
  - MINISTRO DELL'AMBIENTE DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE, *Istituzione e modalita' di funzionamento del registro nazionale dei soggetti obbligati al finanziamento dei sistemi di gestione dei rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), costituzione e funzionamento di un centro di coordinamento per l'ottimizzazione delle attivita' di competenza dei sistemi collettivi e istituzione del comitato d'indirizzo sulla gestione dei RAEE, ai sensi degli articoli 13, comma 8, e 15, comma 4, del decreto legislativo 25 luglio 2005, n. 151, n. 185*. XIV Legislatura, 25 settembre 2007.
  - PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA, *Attuazione della direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche(RAEE)*, n. 49. XIV Legislatura, 14 marzo 2014.
  - CONSIGLIO DEI MINISTRI, *Attuazione della direttiva 2006/66/Ce relativa a pile e accumulatori e ai rifiuti di pile e accumulatori*, n. 188. XIV Legislatura, 20 novembre 2008.
  - CONSIGLIO DEI MINISRI, *Emissioni industriali(prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento) – Attuazione direttiva 2010/75/UE – Modifiche alle Parti II, III, IV e V delDlgs 152/2006(“Codice ambientale”)*, n. 46. XIV Legislatura, 4 marzo 2014.
  - ARPA PIEMONTE (2016), *Approfondimento sulle concentrazioni di mercurio emesse dall'impianto TRM*,  
<[http://www.arpa.piemonte.gov.it/arpa-comunica/file-notizie/2016/mercurio-trm.pdf/at\\_download/file](http://www.arpa.piemonte.gov.it/arpa-comunica/file-notizie/2016/mercurio-trm.pdf/at_download/file)> .
  - PENNACCHIETTI S., *Mercurio in suoli e sedimenti: problematiche connesse all'analisi di rischio*. [Tesi di laurea, Politecnico di Milano, a.a. 2009/2010], (a cura di) dott.ssa Saponaro Sabrina, Milano, pp. 9-29, 37-43.
  - WIKIPEDIA, *CLP (regolamento)*, ultimo aggiornamento 12 dicembre 2017, <[https://it.wikipedia.org/wiki/CLP\\_\(regolamento\)](https://it.wikipedia.org/wiki/CLP_(regolamento))>.