

Emissioni inquinanti in atmosfera per i crematori italiani

Indagine conoscitiva ed elaborazione dati

Sommario

1. INTRODUZIONE.....	3
2. DESCRIZIONE DEL DATASET	4
3. ANALISI DEI DATI	7
Lettura dei dati e legenda per le tabelle	7
Ossidi di Azoto (NO _x , come NO ₂)	8
Monossido di carbonio (CO).....	10
NMVOC (TOC), Composti organici volatili totali.....	11
SO _x , Ossidi di zolfo (come SO ₂)	13
TSP (o PM, Particulate Matter), Polveri sottili totali.....	14
Mercurio (Hg)	16
Metalli pesanti totali.....	18
Zinco (Zn)	19
Diossine e Furani (PCDD/F).....	20
Acido Cloridrico (HCl)	21
Acido Fluoridrico (HF)	23
Tabella riepilogativa delle concentrazioni di riferimento	24
4. FLUSSI DI MASSA DI INQUINANTI PER CREMAZIONE.....	24
Portata d'aria secca e tempi di cremazione	24
Valori di flussi di massa per cremazione	26
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	27
Bibliografia	31
ALLEGATO 1	32

Elaborazioni di Euro.Act srl per conto di Utilitalia SEFIT a cura di Ing. Dario Bernardi, Ing. Daniele Fogli

1. INTRODUZIONE

In anni recenti, l'aumento del numero di cittadini che scelgono la cremazione come forma di sepoltura ha portato all'apertura di numerosi nuovi impianti in Italia (complessivamente quelli attivi alla data del presente studio nel nostro Paese sono ora 71).

Le previsioni indicano un ulteriore aumento della domanda di cremazione nel prossimo futuro, dovuto sia a fattori socio-culturali che economici.

Di qui l'esigenza di aggiornare in maniera più puntuale il quadro relativamente alle emissioni inquinanti dei crematori italiani. Già Santarsiero et al. (2004, 2005) avevano dato una panoramica sulle emissioni in Italia: per una indagine più vasta (a livello europeo-mondiale) si veda anche Mari e Domingo (2010)

Ad oggi, l'Unione Europea attraverso la EEA (*European Environment Agency*) fornisce anche per gli impianti di cremazione, attraverso l' EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – valori di riferimento per gli inquinanti principali, con intervalli di confidenza necessariamente molto ampi. Nell'approccio a quest' analisi, infatti, una premessa da farsi è che naturalmente le emissioni dei crematori sono soggette a forti fluttuazioni statistiche: esse dipendono, oltre che dalla tipologia di forno e soprattutto di filtro abbattitore, essenzialmente da ciò che si introduce nel forno. Peso, età del cadavere, tipologie dei cofani (legno naturale, legno trattato, zinco, altri metalli, casse di cellulosa, imbottitura), presenza nel cadavere di amalgama dentale di vecchia generazione, sono variabili che determinano variazioni di diversi ordini di grandezza per alcuni inquinanti.

Un'ulteriore premessa è che le realtà europee differiscono molto tra di loro, per ovvia ragione: la differenza di tempo nell'inizio e aumento di frequenza della pratica della cremazione nei diversi stati, e conseguenti differenze nelle tecnologie disponibili al momento dell'installazione dei forni. In Italia la pratica crematoria, ora in espansione, si è sviluppata in epoca relativamente recente. Se si aggiunge a questo dato quello di normative italiane piuttosto restrittive in tema di emissioni, se ne potrebbe dedurre che mediamente i forni crematori italiani, più moderni, potrebbero essere più "puliti" rispetto alla media europea.

Limitarsi all'utilizzo dei valori di riferimento europei per stimare le emissioni dai crematori italiani potrebbe essere, in larga parte dei casi, fuorviante. I crematori italiani sono tenuti a un monitoraggio periodico degli inquinanti e questo può indubbiamente facilitare di molto l'impresa di fare un po' d'ordine nel vasto panorama delle emissioni.

Questo report raccoglie e analizza i dati di emissioni in atmosfera di 50 linee di cremazione in Italia. Dapprima si forniscono valori di concentrazione indicativi (es. mg/Nm³) di inquinanti sulla base dei dati osservati, con i relativi intervalli di confidenza.

Per ricondurre poi le misure di concentrazione di inquinanti nell'effluente gassoso (es. mg/Nm³ – metri cubi normalizzati), elencate nei report di prova secondo gli standard vigenti, a valori medi indicativi “per cremazione” (per body), si è considerata la portata dell'effluente gassoso in Nm³/h dei forni e il tempo medio di un intero ciclo di cremazione (per la maggior parte dei crematori recenti attorno ai 90-100 minuti) secondo la semplice espressione $E = c \cdot P \cdot T$

dove E è ad esempio in mg/cremazione,

c è la concentrazione osservata in mg/Nm³

P è la portata media in aria secca in Nm³/h

T è il tempo in ore richiesto per un ciclo di cremazione.

L'idea è che riferendosi al tempo di cremazione, pur non conoscendo nello specifico che cosa è stato cremato, e disponendo di molti risultati per incrementare la dimensione del campione, si possa giungere a valori medi che comprendendo casistiche differenti, siano sufficientemente cautelativi e possano fornire valori ben più aderenti a quanto osservato nella realtà italiana rispetto ai valori da Guidebook EEA.

Inoltre la valutazione tecnica di un considerevole numero di analisi periodiche di inquinanti derivanti da cremazione può fornire utili informazioni per l'industria, che così può intervenire per migliorare i processi di combustione, come pure per i produttori di materiali che costituiscono la bara o il contenitore del corpo che viene introdotto nel forno, per ridurre a valori compatibili l'apporto inquinante da essi derivanti.

Infine, l'apertura di nuovi impianti di cremazione (nonché il potenziamento di quelli esistenti) genera sovente un aspro dibattito all'interno delle comunità dei residenti in vicinanza del previsto impianto. Facendo seguito alle ormai numerose contese tra amministratori e comunità dovute alla presenza di impianti di incenerimento rifiuti o qualsiasi altro impianto percepito come emettitore di inquinanti minaccia per la salute, questo concetto si è indubbiamente esteso anche ai forni crematori.

I dati raccolti possono essere utili per dimostrare livello di inquinamento da crematorio.

2. DESCRIZIONE DEL DATASET

ISPRA e Federutility Sefit (nel giugno 2015 confluita in Utilitalia) hanno congiuntamente richiesto ai gestori dei crematori attivi in Italia la compilazione di una scheda (si veda Allegato 1) relativa alla concentrazione di inquinanti rilevati durante le misure periodiche che i crematori sono tenuti ad effettuare e fornire alle autorità competenti. In alternativa i gestori potevano fornire anche copia del rapporto sui risultati delle analisi.

Si omettono per brevità i riferimenti relativi alle tecniche per l'effettuazione dei rilievi, tutti svolti da laboratori accreditati nel rispetto delle prescrizioni UNI. I dati raccolti si riferiscono alle medesime condizioni standard (aria secca a 101.3 kPa, 273 K con 11% O₂).

Hanno risposto 43 crematori (Tabella 1, Figura 1). Qualcuno di essi ha fornito risultati relativi a più linee di cremazione presenti all'interno del crematorio (Ferrara, Spinea, Marghera, Venezia San Michele, Mantova, Livorno, Torino) per un totale di 50 linee di cremazione analizzate. Le misure si riferiscono prevalentemente all'anno 2014 (1 al 2013 e 8 al 2015), anche se in qualche caso la data non è stata indicata. Le risposte fornite provengono da impianti che, complessivamente, rappresentano il 74% delle cremazioni complessive – di salme e resti mortali – sul totale nazionale del 2014 (109.486 su 147.367).

TABELLA 1: CREMATORI CHE HANNO FORNITO RISULTATI E DATA DELLE ANALISI DEI FUMI

Albosaggia (SO)	27/12/2014
Aosta	17-18/09/2014
Arezzo	
Bergamo	8-9-10/1/2014
Bologna	06/03/2015
Bolzano	04/09/2014
Bra(CN)	17/12/2014
Brescia	29/09/2014
Busto Arsizio (VA)	15/4/2014
Cagliari	28/03/2014
Cava dè Tirreni (SA)	10/09/2014
Cervignano del Friuli	12-13/03/2015
Cinisello Balsamo	02/10/2014
Copparo (FE)	19/12/2014
Cremona	8-9-10/07/2014
Faenza (RA)	26/03/2015
Ferrara, Linea 1	
Ferrara, Linea 2	
Genova	12-13/05/2015
La Spezia	18/12/2014
Livorno, Linea 1	11/11/2014
Livorno, Linea 2	12/11/2014
Lodi	17/04/2014
Mantova, Linea 1	11/12/2014
Mantova, Linea 2	11/12/2014
Mappano (TO)	21/05/2014
Marghera (VE) Linea 1	23/10/2014
Marghera (VE) Linea 2	28/10/2014
Modena	29/12/2014
Novara	19/06/2015
Parma	28/01/2015
Perugia	20/10/2014
Piscina (TO)	07/05/2013
Ravenna	29/05/2014
Roma	
Savona	03/10/2014
Siena	20/06/2014
Spinea (VE) Linea 1	
Spinea (VE) Linea 2	

Torino - Linea 3	22/05/2014
Torino - Linee 1 e 2	19/05/2014
Torino - Linee 4 e 5	20/05/2014
Trecate (NO)	19/12/2014
Trieste	27-29/05/2014
Varese	
Venezia (San Michele) Linea 1	05/03/2014
Venezia (San Michele) Linea 2	12/03/2014
Verona	
Vicenza	04/06/2015
Viterbo	26/02/2015

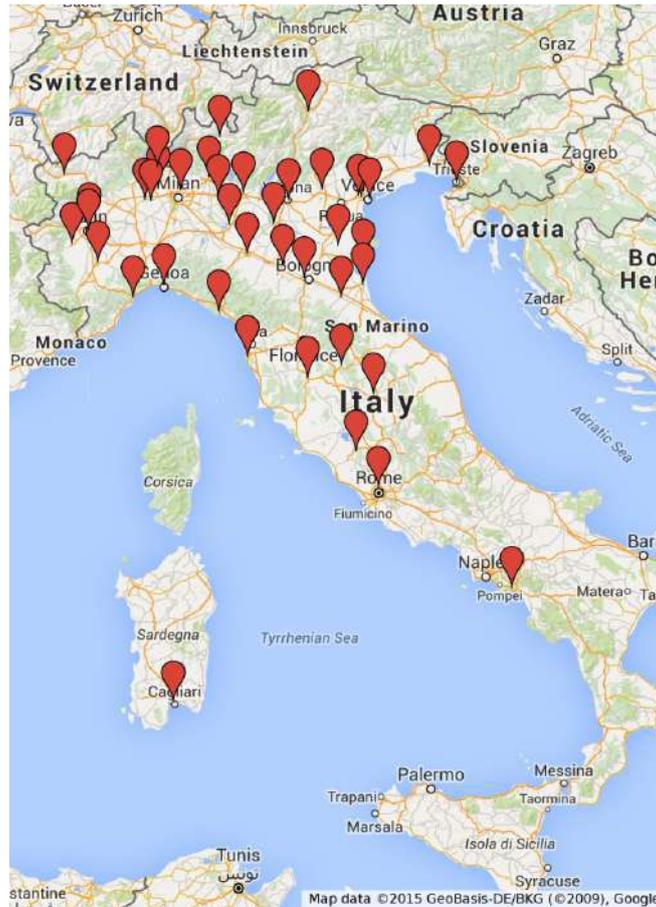


FIGURA 1: MAPPA DEI CREMATORI ANALIZZATI

Non tutti i crematori hanno potuto indicare risultati disponibili relativi a tutti gli inquinanti richiesti. La dimensione del campione cambia per ogni inquinante analizzato (Tabella 2).

TABELLA 2: NUMEROSITÀ DEL CAMPIONE PER OGNI INQUINANTE

INQUINANTE	N campione	INQUINANTE	N campione
NOx (come NO2)	43	Somma PCDD/F ***	26
CO	46	Somma IPA****	16

NMVOG* (TOC)	39	Benzo(a)pyrene	8
SOx (come SO ₂)	44	Benzo(b)fluoranthene	8
TSP (polveri totali)	47	Benzo(k)fluoranthene	8
Hg	35	Indeno(1,2,3-cd)pyrene	8
Totale metalli pesanti	35	HCB Hexachlorobenzene	1
Zn	21	HCl	46
Somma PCBs**	2	HF	31
* Composti organici volatili totali ** Policlorobifenili ***Diossine + Furani per tossicità equivalente I-TEQ ****Idrocarburi policiclici aromatici.			

I dati relativi a PCB, IPA (aggregati e singolarmente), HCB, sono poco numerosi e non consentono di effettuare approfondimenti, tuttavia viene fornito in tabella riepilogativa il valore medio.

In generale, si è deciso di adottare la seguente metodologia: si confronta il campione di osservazione con una distribuzione normale attraverso un *q-q plot*. Se questo confronto ha esito positivo, si forniscono i valori della media m , deviazione standard s e degli intervalli $m \pm s$, $m \pm 2s$ come valori guida per la concentrazione di inquinante.

In caso contrario, quando la distribuzione del campione è fortemente asimmetrica e si discosta considerevolmente dalla distribuzione normale, si considerano la mediana, il primo e terzo quartile (rappresentati graficamente in un *boxplot*) e i percentili 14 e 84. Per convertire i valori di concentrazione in valori di flusso di massa si considera il tempo medio di cremazione.

Nel seguito si riportano i dati inquinante per inquinante secondo l'ordine dell'Allegato 1.

Per operare un primo consistente filtraggio e ridurre l'eterogeneità del campione nonché l'effetto di eventuali errori locali, il campione per le analisi successive è costituito dai valori medi forniti da ciascun crematorio per ogni inquinante (colonna "med" dell'Allegato 1). Ad esempio se per alcune analisi dei fumi si dispone di 3 o più valori per lo stesso inquinante, è stato utilizzato il valor medio. Gli altri valori sono stati comunque registrati per eventuali futuri approfondimenti.

3. ANALISI DEI DATI

Letture dei dati e legenda per le tabelle

Per ogni campione di dimensione significativa si riporta l'istogramma di frequenza.

I metalli pesanti, a parte il mercurio, vengono trattati in maniera aggregata.

Il *q-q plot*, essendo la rappresentazione grafica dei quantili di una distribuzione, permette di confrontare il campione di dati con la relativa distribuzione normale, testando graficamente l'appropriatezza di quest'ultima nel descrivere il campione e suggerendone o meno l'utilizzo nel

fornire valori di riferimento. Qualora la rappresentazione fornita dalla distribuzione normale non sia soddisfacente, si preferisce utilizzare la mediana e i quartili o percentili come riferimento.

Nel *boxplot*, i limiti della “box” sono al primo e terzo quartile. Sono rappresentati come outlier, con un puntino rosso, i dati che stanno al di fuori, rispetto al primo e terzo quartile, di una volta e mezzo il range interquartile: se cioè $< 1q - 1.5(3q-1q)$, o $> 3q + 1.5(3q-1q)$. Il boxplot dà l’idea della dispersione dei dati.

Dati scartati a priori dall’analisi, e dei quali non si è tenuto conto, sono menzionati nelle rispettive sezioni.

Prima di procedere all’analisi per singolo inquinante si fornisce la legenda per le tabelle:

m = media

s = deviazione standard

med = mediana

1q = primo quartile

3q = terzo quartile

pct16 = percentile corrispondente al 16%

pct84 = percentile corrispondente all’84%. L’intervallo compreso tra pct16 e pct84 contiene il 68% delle osservazioni (così come l’intervallo m-s, m+s nell’ipotesi di una distribuzione normale).

min = valore minimo osservato

max = valore massimo osservato

Ossidi di Azoto (NO_x, come NO₂)

Le 43 osservazioni degli ossidi di Azoto (come NO₂) risultano così distribuite:

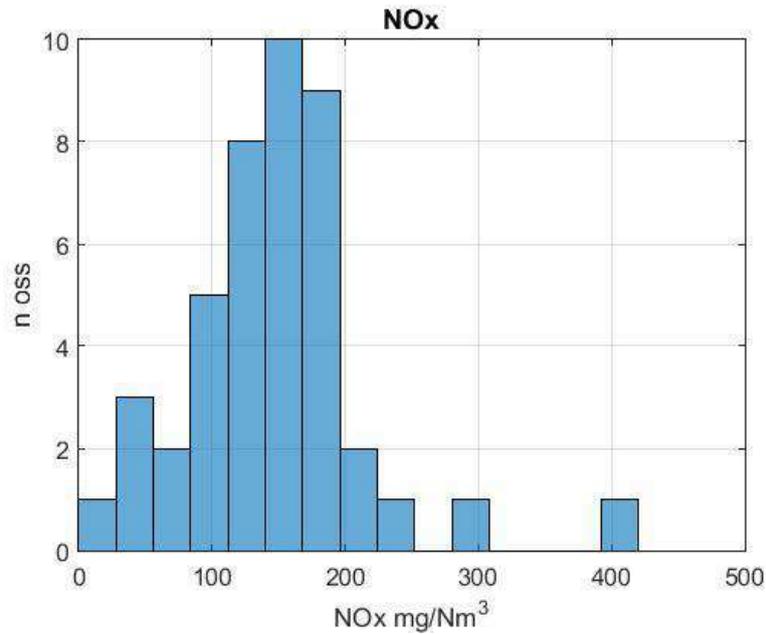


FIGURA 2: ISTOGRAMMA PER GLI NOX

La distribuzione è piuttosto simmetrica, infatti il q-q plot mostra buon allineamento e suggerisce di utilizzare la distribuzione normale:

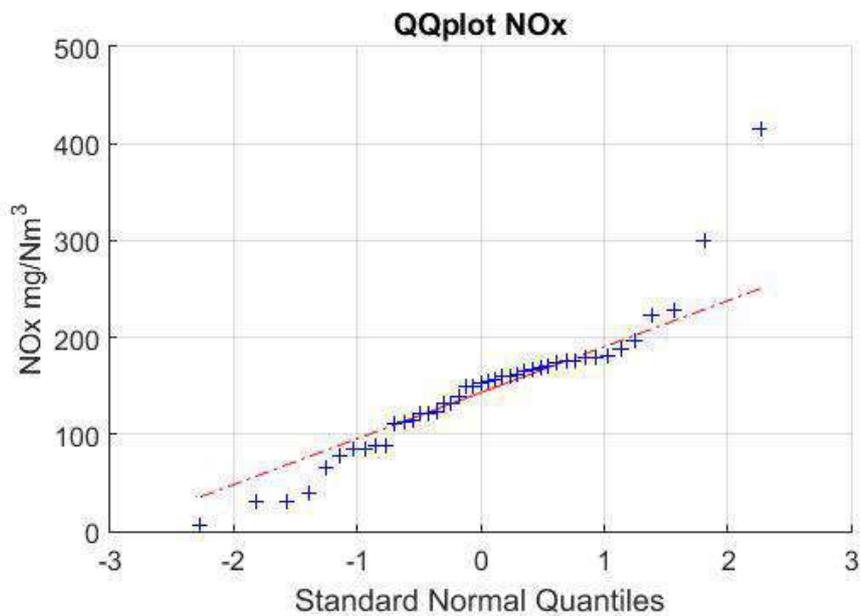


FIGURA 3: Q-Q PLOT PER NOX

I valori di riferimento per gli ossidi di azoto sono dunque raccolti in tabella, con min e max che indicano i valori minimi e massimi delle concentrazioni registrate:

Ossidi di Azoto, NOx mg/Nm ³							
m	s	m-s	m+s	m-2s	m+2s	min	max
144.9	70.7	74.2	215.6	3.5	286.3	6	415

Monossido di carbonio (CO)

Le 46 osservazioni del monossido di carbonio risultano così distribuite:

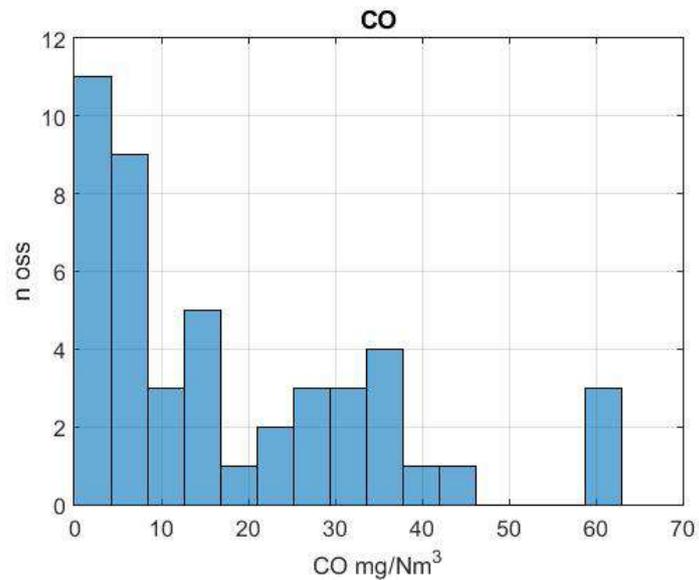


FIGURA 4: ISTOGRAMMA PER CO

La distribuzione non è simmetrica, il q-q plot sconsiglia di utilizzare la distribuzione normale:

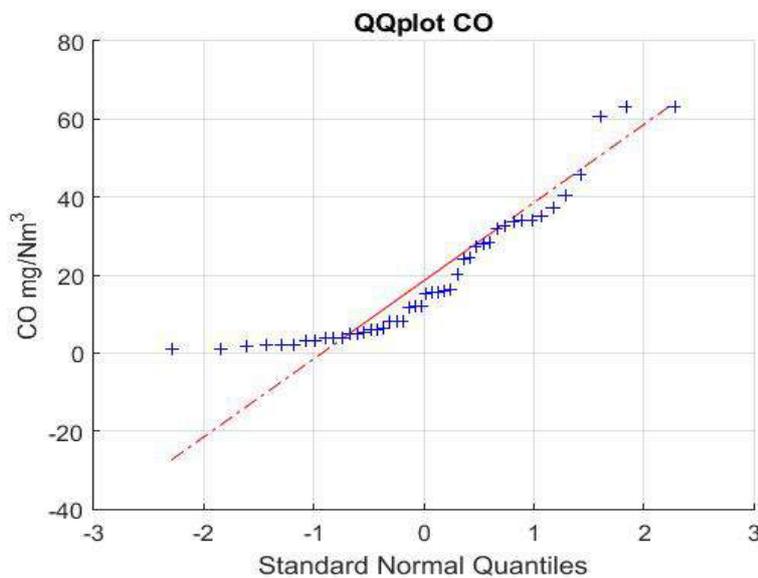


FIGURA 5: Q-Q PLOT PER CO

Ecco come appare il boxplot per il monossido di carbonio.

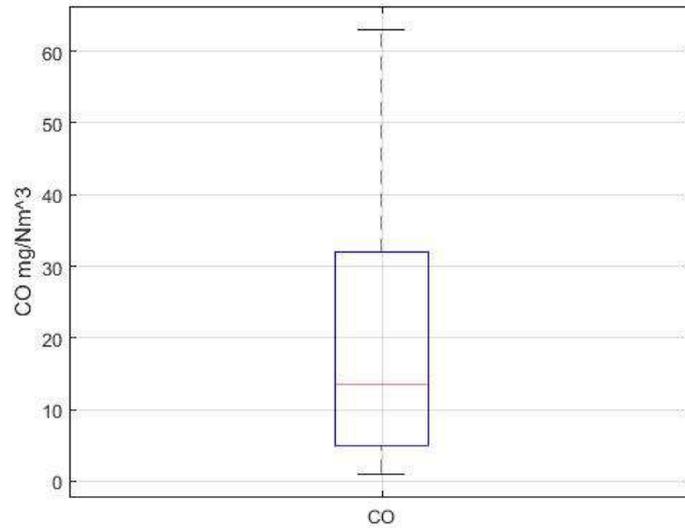


FIGURA 6 – BOXPLOT PER CO

I valori di riferimento per il monossido di carbonio sono raccolti in tabella, con min e max che indicano i valori minimi e massimi delle concentrazioni registrate:

Monossido di Carbonio, CO mg/Nm ³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
18.76	13.6	5	32	3	34.14	1	63

NMVOC (TOC), Composti organici volatili totali

Le 39 osservazioni del NMVOC risultano così distribuite:

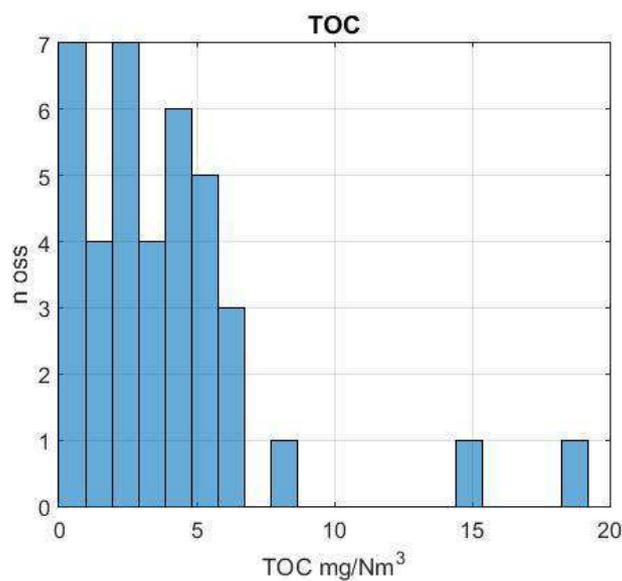


FIGURA 7 – ISTOGRAMMA PER NMVOC (TOC)

Il q-q plot mostra un buon accordo con la distribuzione normale specialmente per l'intervallo centrale; di fatto l'esclusione dei due valori superiori più estremi porterebbe ad un accordo accettabile. Non volendo escludere dall'analisi i due dati superiori, si considerano anche in questo caso mediana e quartili.

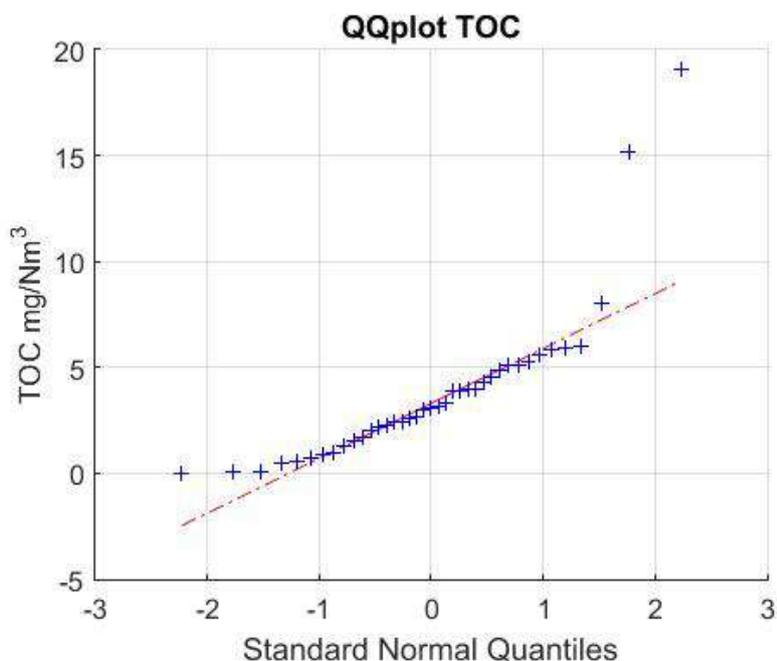


FIGURA 8: Q-Q PLOT PER NMVOC (TOC)

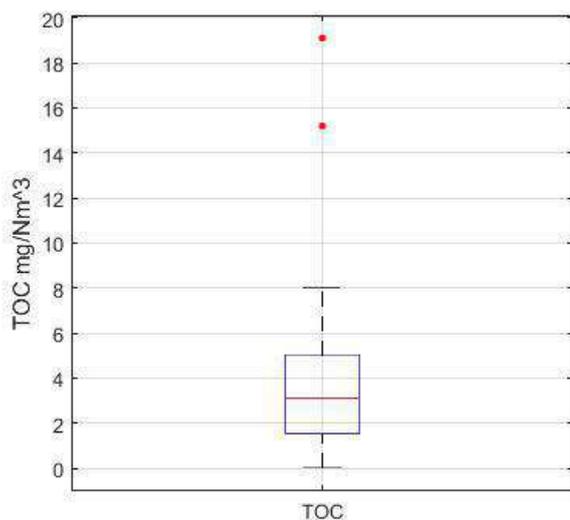


FIGURA 9 BOXPLOT PER TOC

I valori di riferimento per il NMVOC (TOC) sono raccolti in tabella

NMVOC(TOC), Composti organici volatili totali, mg/Nm³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max

3.8	3.1	1.5	5.05	0.8	5.6	0.004	19.1
-----	-----	-----	------	-----	-----	-------	------

SOx, Ossidi di zolfo (come SO₂)

Un valore di SOx è stato scartato come outlier a priori (pari a 96 mg/Nm³, quasi 10 volte il valor medio).

Le 43 restanti osservazioni degli SOx risultano così distribuite:

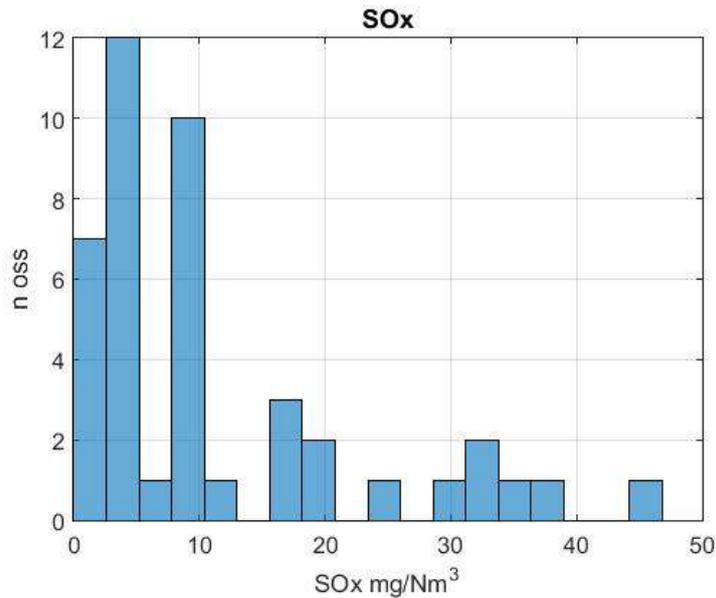


FIGURA 10 – ISTOGRAMMA PER SOX

Il q-q plot mostra che la distribuzione dei valori è distante dalla normale.

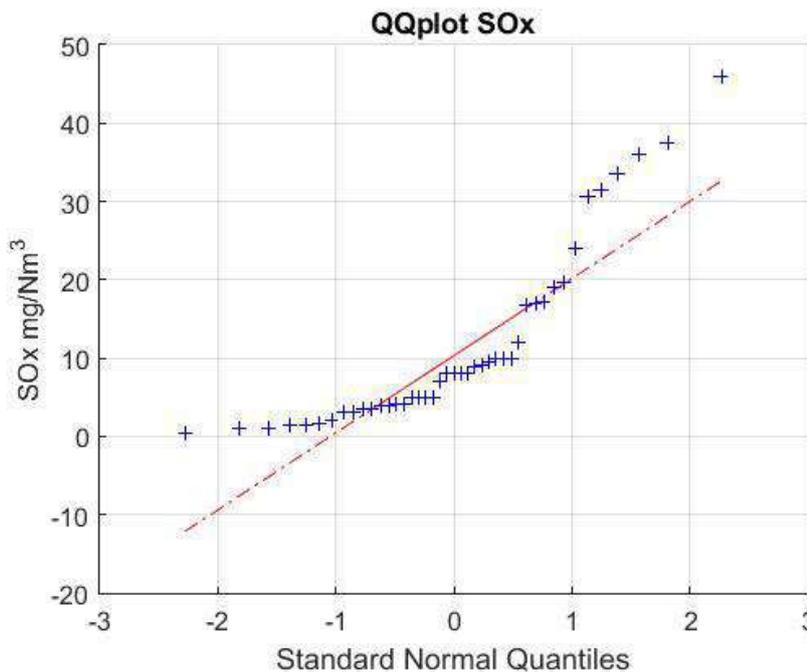


FIGURA 11: Q-Q PLOT PER SOX

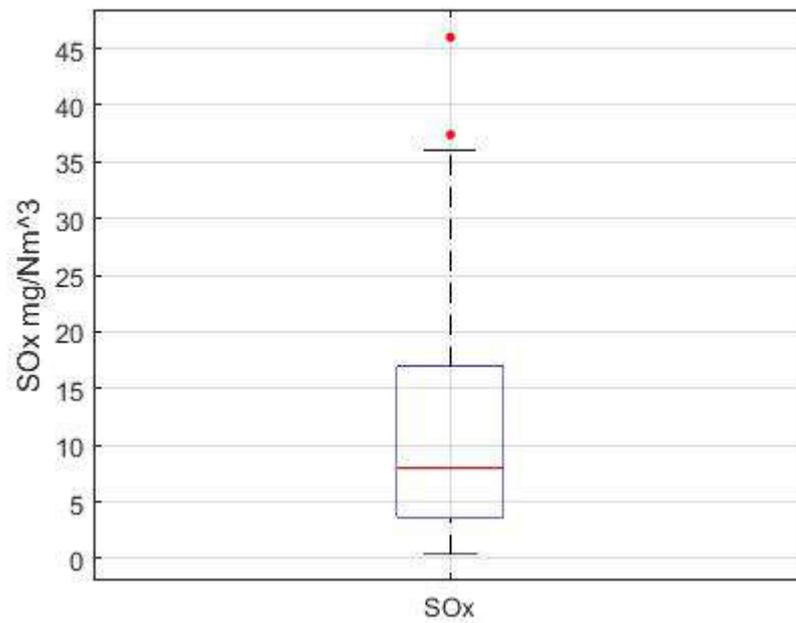


FIGURA 12 BOXPLOT PER SOX

I valori di riferimento per gli SOx sono raccolti in tabella

SOx, Ossidi di zolfo (come SO₂), mg/Nm³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
11.52	8	3.66	19.5	2.38	22.32	0.5	46

TSP (o PM, Particulate Matter), Polveri sottili totali

Un valore di PM è stato scartato come outlier a priori (pari a 87 mg/Nm³, quasi 20 volte il valor medio).

Le 47 restanti osservazioni delle polveri sottili risultano così distribuite:

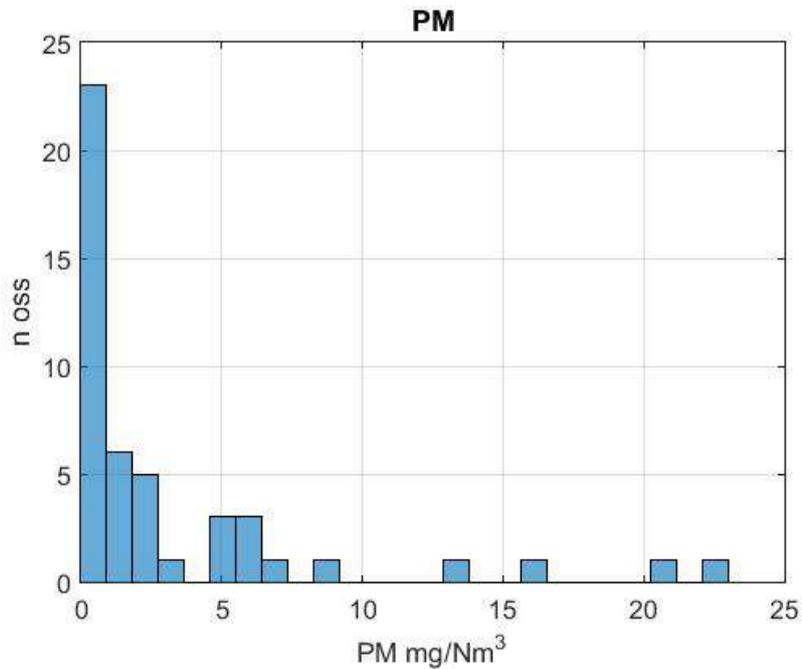


FIGURA 13 – ISTOGRAMMA PER PM

La distribuzione è molto distante della normale, pochi crematori mostrano valori alti in controtendenza rispetto alla grande maggioranza degli impianti. Il q-q plot conferma l’inadeguatezza della distribuzione normale.

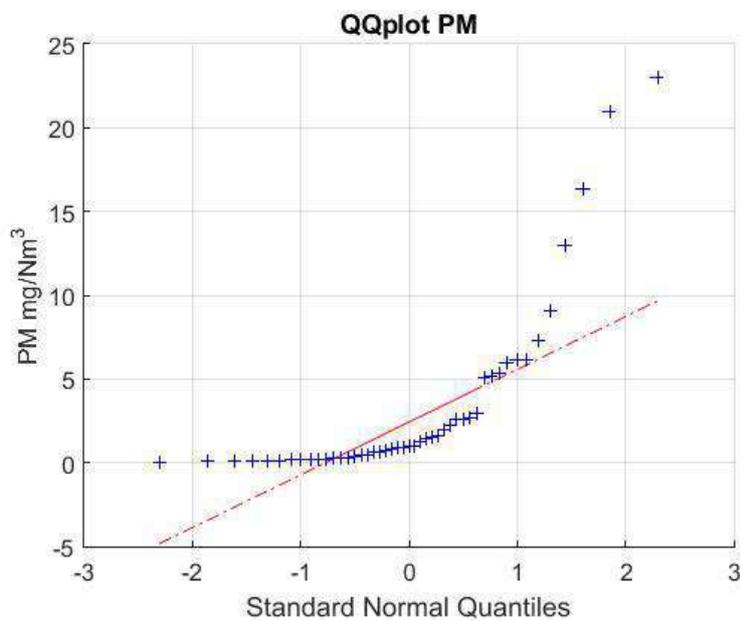


FIGURA 14: Q-Q PLOT PER PM

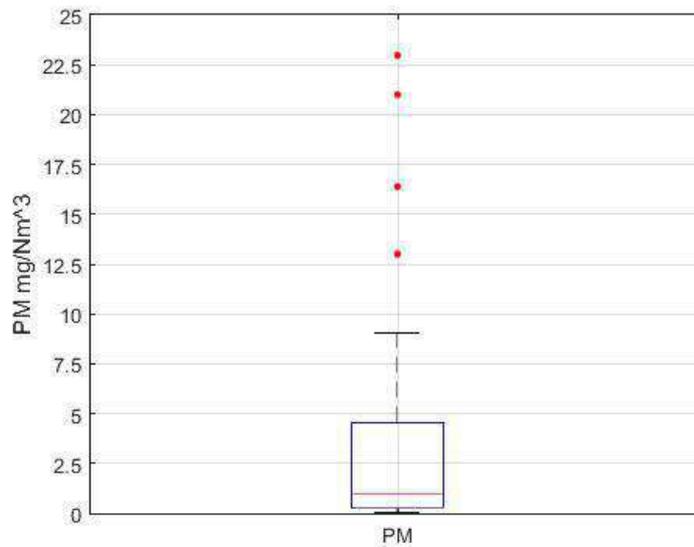


FIGURA 15 BOXPLOT PER PM

I valori di riferimento per le PM sono raccolti in tabella

TSP (PM), Polveri sottili mg/Nm ³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
3.29	1.0	0.3	4.55	0.18	6.1	0.05	22.96

Mercurio (Hg)

E' stato scartato come outlier un valore di mercurio a priori, pari a 0.251 (più di 50 volte la media).

Le 35 osservazioni restanti del Mercurio risultano così distribuite:

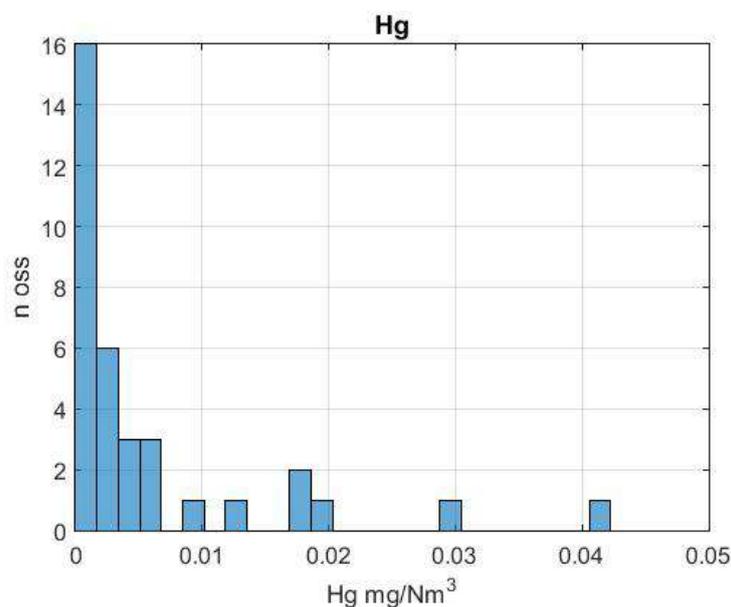


FIGURA 16 – ISTOGRAMMA PER HG

Come nel caso delle polveri, la distribuzione è molto distante della normale, pochi crematori mostrano valori alti in controtendenza rispetto alla grande maggioranza degli impianti. Il q-q plot conferma l'inadeguatezza della distribuzione normale. Come si nota anche dal boxplot, i valori di Mercurio si addensano molto vicino allo zero, con un range interquartile molto basso. E' da ricordare che le misure di Mercurio sono molto influenzate dal cadavere-resto mortale cremato, in particolare dalla natura dell'amalgama dentale utilizzato: Valori particolarmente alti sono anche da imputare a questa estrema variabilità.

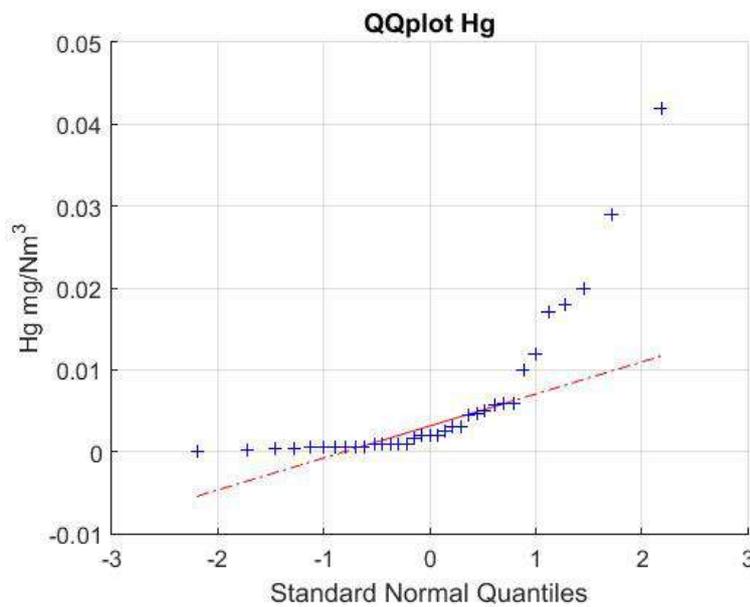


FIGURA 17: Q-Q PLOT PER HG

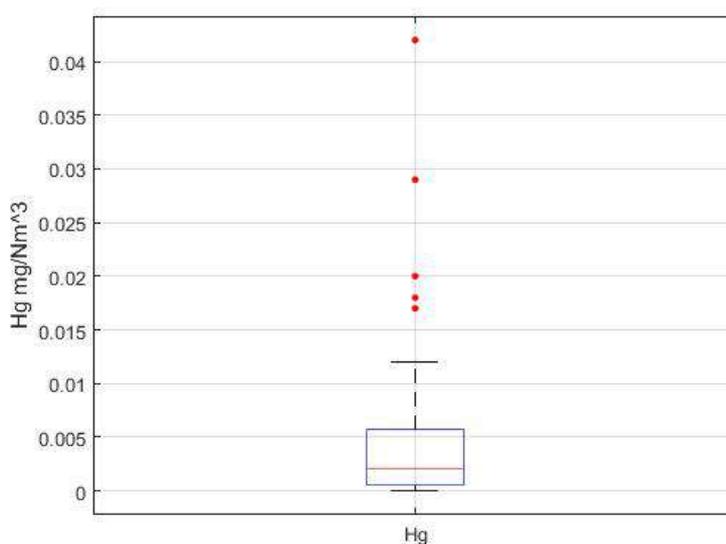


FIGURA 18 BOXPLOT PER HG

I valori di riferimento per il mercurio sono raccolti in tabella

Mercurio (Hg), mg/Nm ³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
0.0058	0.002	0.0005	0.0058	0.0005	0.0118	0	0.0420

Metalli pesanti totali

Valgono per i metalli pesanti in aggregato circa le stesse considerazioni effettuate per il mercurio. I valori sono 35.

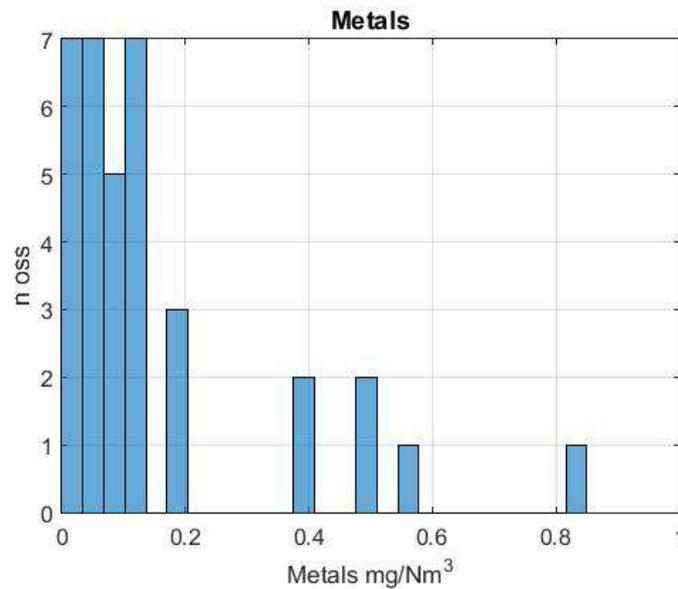


FIGURA 19 – ISTOGRAMMA PER I METALLI PESANTI

Sono presenti valori particolarmente alti ma molto dispersi, con una chiara tendenza centrale su valori bassi.

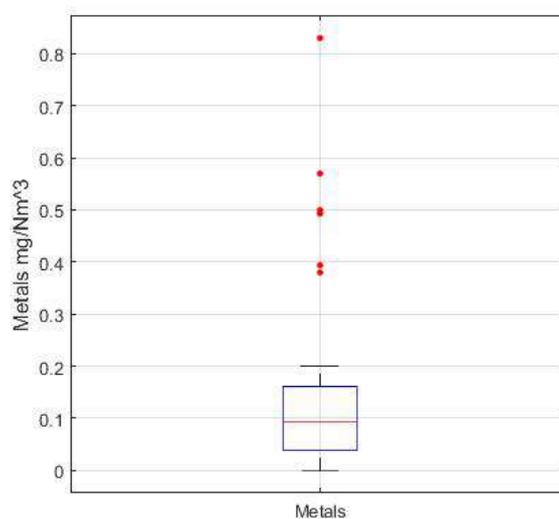


FIGURA 20 BOXPLOT PER I METALLI PESANTI

I valori di riferimento per i metalli pesanti sono raccolti in tabella

Metalli pesanti totali, mg/Nm³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
0.15	0.0940	0.0380	0.1610	0.019	0.36	0.0005	0.83

Zinco (Zn)

Lo zinco è un inquinante di interesse solo laddove l'impianto è autorizzato alla cremazione di feretri con lo zinco. I valori forniti totali sono 21. E' inoltre evidente che, al di là dell'autorizzazione, le fluttuazioni importanti sono dovute anche alla presenza o meno dello zinco nel feretro cremato al momento dei rilievi. Il campione risulta diviso a metà tra impianti autorizzati e non autorizzati (coerentemente, molti dei non autorizzati non misurano lo zinco durante i rilievi).

Nelle linee autorizzate a cremare Zinco, i valori medi di concentrazione registrati sono stati:

Zinco (Zn) in crematori autorizzati, mg/Nm³											
m	med	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.63	0.158	0.081	0.011	0.012	0.08	1.7	0.17	1.5	1.51	1.09	0.146

Per le linee non autorizzate:

Zinco (Zn) in crematori NON autorizzati, mg/Nm³												
m	med	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.108	0.073	0.06	0.05	0.006	0.327	0.3	0.0387	0.073	0.101	0.1	0.002	0.1327

I campioni sarebbero da analizzare separatamente ma risultano troppo limitati in dimensione. Ci si limita a fornire dunque questi valori come linee guida. Per completezza di informazione il dato europeo è influenzato dal fatto che negli altri Paesi l'uso dello zinco nella tumulazione è sostanzialmente assente, con epure per i trasporti funebri di breve gittata. E di conseguenza l'arrivo di feretri contenenti zinco in crematorio è praticamente nullo. Lo zinco misurato deriva pertanto da altre fonti, generalmente diverse dalla controcassa di zinco.

Diossine e Furani (PCDD/F)

Si considerano complessivamente diossine e furani secondo la loro tossicità equivalente (I-TEQ). Sono stati scartati come outlier a priori due valori di PCDD/F, rispettivamente pari a 7 e 68 ng/Nm³. Queste concentrazioni risultano pari a più di 200 e 2000 volte, rispettivamente, la media registrata negli altri crematori. I valori “validi” sono 26.

L’evoluzione dei sistemi di abbattimento porta infatti a una concentrazione dei valori in una fascia molto bassa come si nota dall’istogramma.

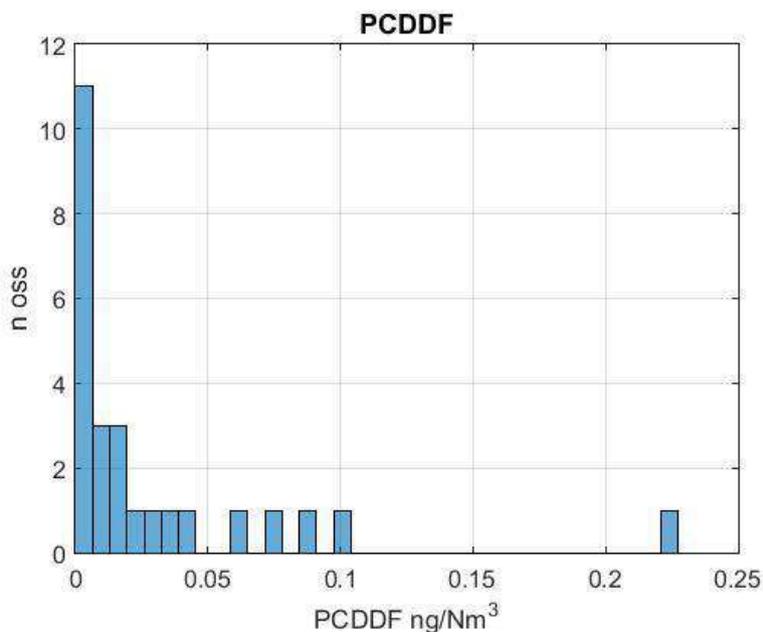


FIGURA 21 – ISTOGRAMMA PER PCDD/F

La distribuzione normale ancora una volta non è adeguata.

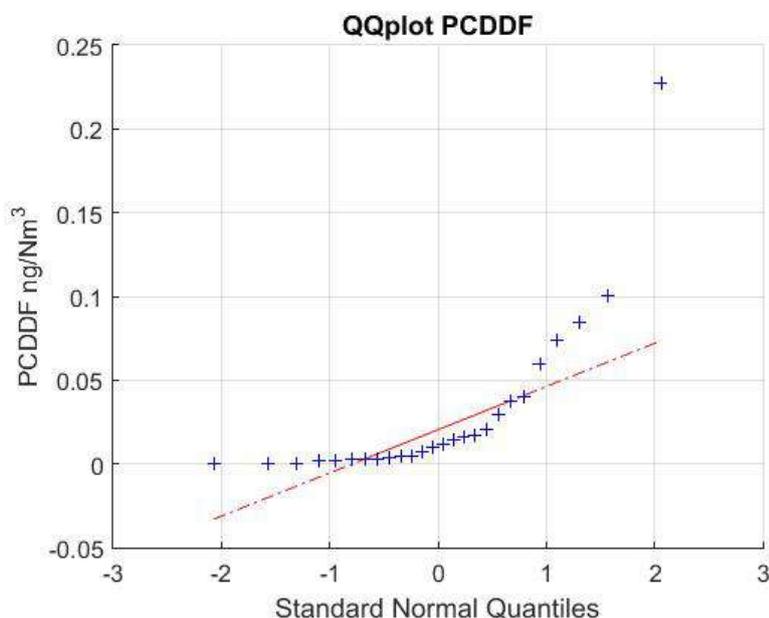


FIGURA 22 Q-Q PLOT PER PCDD/F

Il boxplot individua come outlier i due valori più alti (comunque dieci volte superiori alla media), comunque mantenuti nei calcoli.

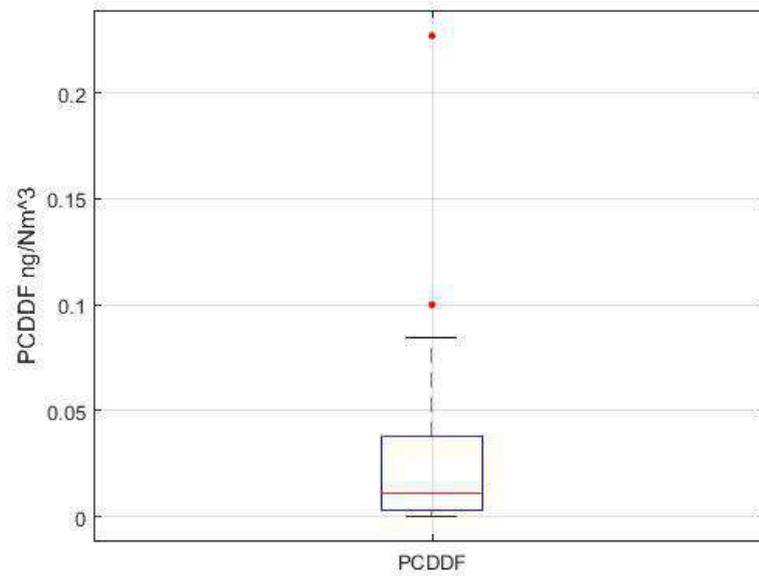


FIGURA 23 BOXPLOT PER PCDD/F

I valori di riferimento per le diossine e i furani in tossicità equivalente (I-TEQ ng/Nm³) sono raccolti in tabella

Diossine e furani (PCDD/F I-TEQ), ng/Nm ³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
0.03	0.011	0.003	0.038	0.0021	0.064	0.00023	0.227

Acido Cloridrico (HCl)

I 46 valori dell'acido cloridrico si distribuiscono come segue:

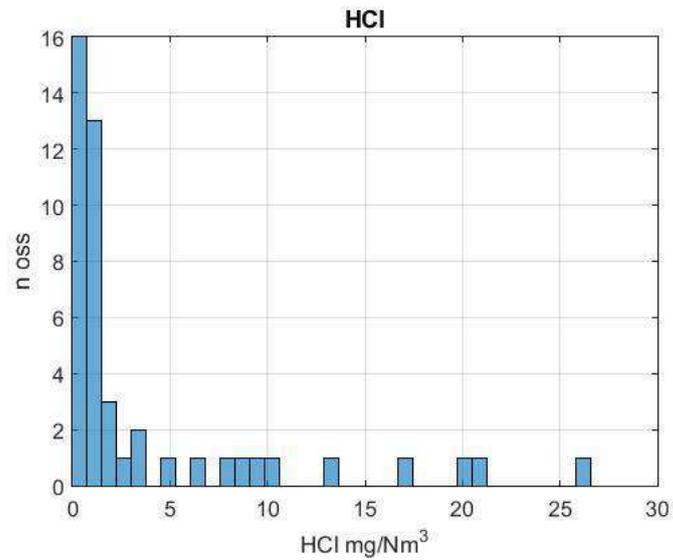


FIGURA 24 – ISTOGRAMMA PER HCL

Sono presenti valori particolarmente alti, dispersi, con una tendenza centrale su valori più bassi.

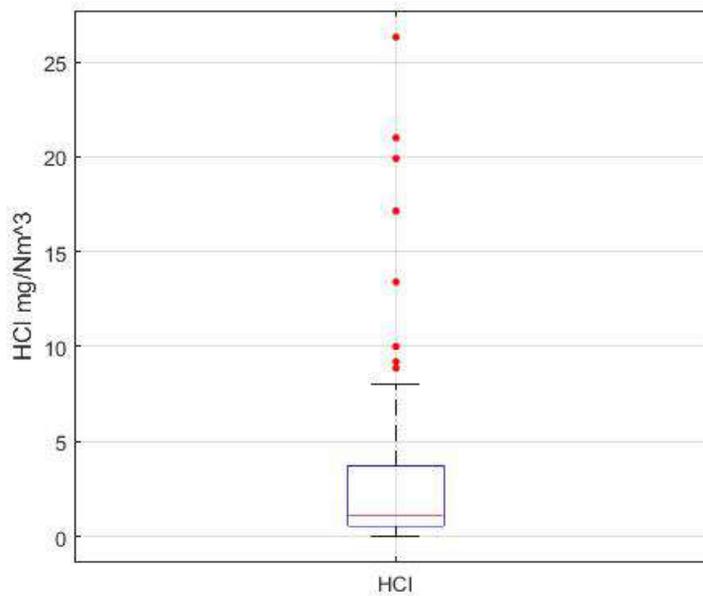


FIGURA 25 BOXPLOT PER HCL

I valori di riferimento per l'acido Cloridrico (HCl) sono raccolti in tabella

Acido Cloridrico (HCl) mg/Nm ³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
3.92	1.07	0.55	3.7	0.38	8.92	0.01	26.3

Acido Fluoridrico (HF)

I 31 valori dell'acido fluoridrico si distribuiscono come segue:

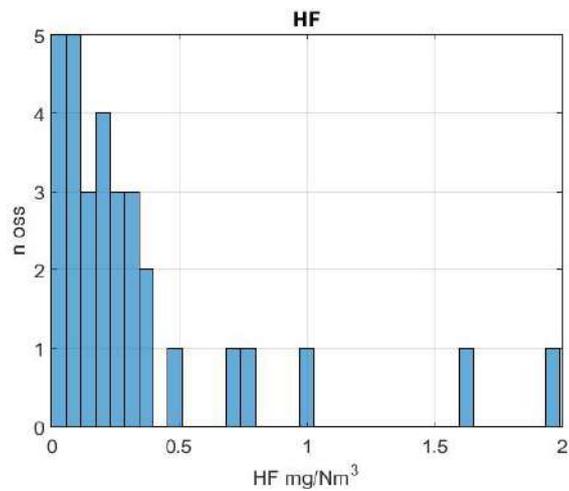


FIGURA 26 – ISTOGRAMMA PER HF

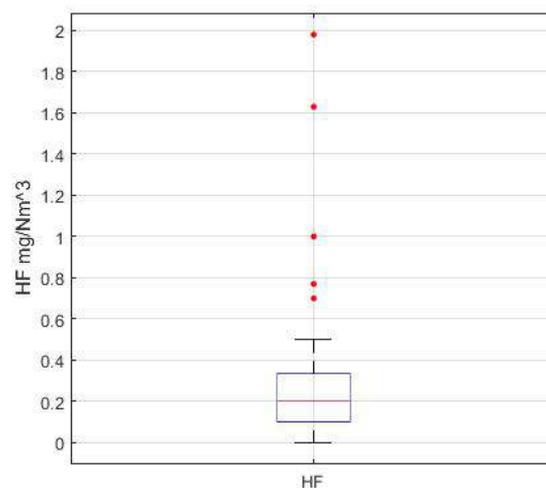


FIGURA 27 BOXPLOT PER F

I valori di riferimento per l'acido Fluoridrico (HF) sono raccolti in tabella

Acido Fluoridrico (HF) mg/Nm ³							
m	med	1q	3q	pct16	pct84	min	max
0.343	0.2	0.1	0.34	0.045	0.61	0	1.98

Tabella riepilogativa delle concentrazioni di riferimento

TABELLA 3: CONCENTRAZIONI DI RIFERIMENTO PER GLI INQUINANTI ANALIZZATI

INQUINANTE	Unità	m (media)	s (devst)	m-2s	m+2s	m-s	m+s	min	max
NOx (come NO2)	mg/Nm ³	144.9	70.7	3.5	286.3	74.2	215.6	6	415
INQUINANTE	Unità	m (media)	med (mediana)	1q	3q	pct16	pct84	min	max
CO	mg/Nm ³	18.76	13.6	5	32	3	34.14	1	63
NMVOG* (TOC)	mg/Nm ³	3.8	3.1	1.5	5.05	0.8	5.6	0.004	19.1
SOx (come SO2)	mg/Nm ³	11.52	8	3.66	19.5	2.38	22.32	0.5	46
TSP (polveri totali)	mg/Nm ³	3.29	1.0	0.3	4.55	0.18	6.1	0.05	22.96
Hg	mg/Nm ³	0.0058	0.002	0.0005	0.0058	0.0005	0.0118	0	0.0420
Totale metalli pesanti	mg/Nm ³	0.15	0.0940	0.0380	0.1610	0.019	0.36	0.0005	0.83
Zn (autorizzati)	mg/Nm ³	0.63	0.158	-	-	-	-	-	-
Zn (non autorizzati)	mg/Nm ³	0.108	0.073	-	-	-	-	-	-
Somma PCBs	mg/Nm ³	2.2 10 ⁻⁵							
Somma PCDD/F	ng/Nm ³	0.03	0.011	0.003	0.038	0.0021	0.064	0.00023	0.227
Somma IPA	µg/Nm ³	0.50	0.055	-	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyrene	µg /Nm ³	0.0133	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(b)fluoranthene	µg /Nm ³	0.0234	-	-	-	-	-	-	-
Benzo(k)fluoranthene	µg /Nm ³	0.0109	-	-	-	-	-	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	µg /Nm ³	0.01264	-	-	-	-	-	-	-
HCB HexaClBenzene	µg /Nm ³	0.010	-	-	-	-	-	-	-
HCl	mg/Nm ³	3.92	1.07	0.55	3.7	0.38	8.92	0.01	26.3
HF	mg/Nm ³	0.343	0.2	0.1	0.34	0.045	0.61	0	1.98

4. FLUSSI DI MASSA DI INQUINANTI PER CREMAZIONE

Portata d'aria secca e tempi di cremazione

Per la portata d'aria (50 misure) e i tempi di cremazione (31 dati, stimati come “tempo medio” per cremazione dagli operatori del crematorio) si prendono a riferimento i valori della mediana come valore di riferimento e percentile 16 e 84 come range di ampiezza. Di seguito si riportano i boxplot e i valori per entrambi. Nel boxplot, come solito, i valori indicati sono il 25-esimo e 75-esimo percentile; per i tempi di cremazione, il 16 coincide col 25 e il 75 con l'84 (i tempi di cremazione sono molto meno dispersi). In prospettiva, per linee di cremazione nuove o rinnovate, sono da escludersi ragionevolmente tempi di cremazione oltre i 120 minuti e portate d'aria oltre i 3000 Nm³/h.

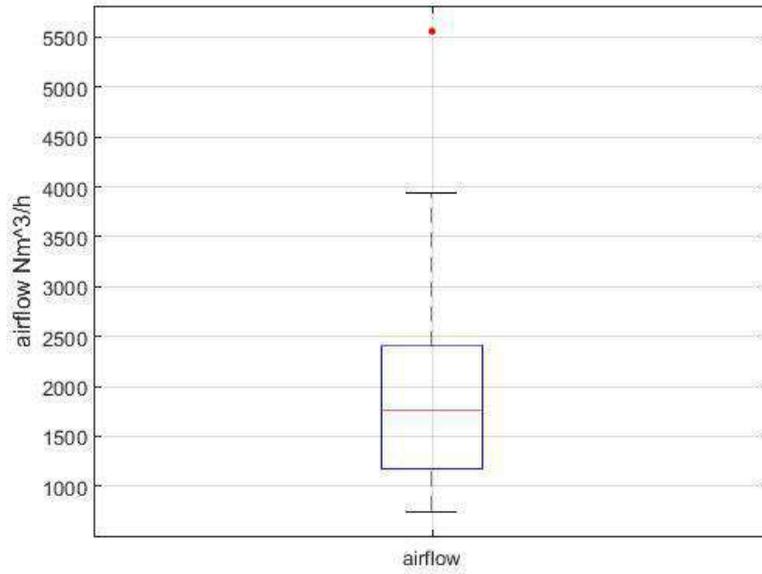


FIGURA 28 BOXPLOT PER LA PORTATA D’ARIA SECCA AL CAMINO

Portata d’aria secca [Nm³/h]			
m	med	pct16	pct84
1959	1755	1010	2863

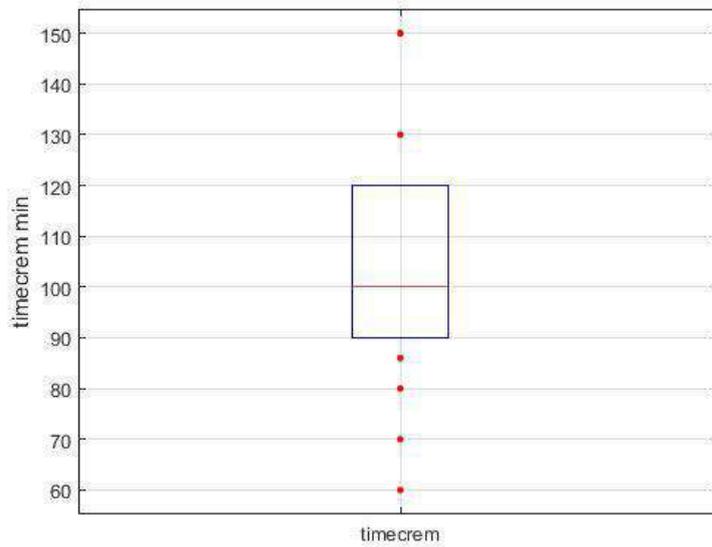


FIGURA 29 BOXPLOT PER IL TEMPO DI CREMAZIONE

Tempo medio per cremazione [min]			
m	med	pct16	pct84
104	100	90	120

Valori di flussi di massa per cremazione

Con i dati appena elencati, si possono fornire valori indicativi di riferimento “*per body*” ossia per cremazione, utilizzando:

- Per il valore di riferimento, il valore rappresentativo dell'inquinante (media o mediana), la mediana del tempo di cremazione e la mediana della portata d'aria;
- Per la stima inferiore, il 16-percentile dell'inquinante, il 16-percentile tempo di cremazione e il 16-percentile della portata d'aria;
- Per la stima superiore, l'84-percentile dell'inquinante, l'84-percentile del tempo di cremazione e l'84-percentile della portata d'aria.

TABELLA 4: FLUSSI DI MASSA DI INQUINANTI PER CREMAZIONE A CONFRONTO CON I VALORI PROPOSTI DALL'EEA EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK 2013. IN VERDE I VALORI EMERSI DALL'INDAGINE SENSIBILMENTE INFERIORI AI VALORI DELL' EEA GUIDEBOOK, IN ROSSO QUELLI SENSIBILMENTE SUPERIORI.

INQUINANTE	Unità	CREMATORI ITALIANI 2013-15			EEA GUIDEBOOK 2013		
		Valore rappr.	Limite inferiore	Limite superiore	Valore rappr.	Limite* inferiore	Limite* superiore
NOx (come NO2)	kg/body	0.4238	0.1124	1.2345	0.825	0.0825	8.25
CO	kg/body	0.0398	0.0045	0.1955	0.14	0.014	1.4
NMVOC* (TOC)	kg/body	0.0091	0.0012	0.0321	0.013	0.0013	0.13
SOx (come SO2)	kg/body	0.0234	0.0036	0.1278	0.113	0.0113	1.13
TSP (polveri totali)	g/body	2.93	0.27	34.93	38.56	3.856	385.6
Hg	g/body	0.0059	0.0008	0.0676	1.49	0.149	14.9
Totale metalli pesanti	mg/body	274.95	28.7850	2061.36	1761.89	176.189	17618.9
Zn (autorizzati)	mg/body	462.15			160.12	16.012	1601.2
Somma PCBs	mg/body	0.0585**			0.41	0.041	4.1
Somma PCDD/F	µg/body	0.0322	0.0032	0.3665	0.027	0.0027	0.27
Somma IPA	mg/body	0.1609					
Benzo(a)pyrene	µg/body	38.90**			13.2	1.32	132
Benzo(b)fluoranthene	µg/body	68.45**			7.21	0.721	72.1
Benzo(k)fluoranthene	µg/body	31.88**			6.44	0.644	64.4
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	µg/body	36.97**	0.58	51.08	6.99	0.699	69.9
HCB HexaClBenzene	mg/body	0.029**	0.26	0.92	0.15	0.015	1.5
HCl	g/body	11.47	0.1124	1.2345			
HF	mg/body	1.00	0.0045	0.1955			

* Il guidebook EEA indica livello di confidenza pari al 95% per i valori forniti.
 ** Campione di dimensione limitata.

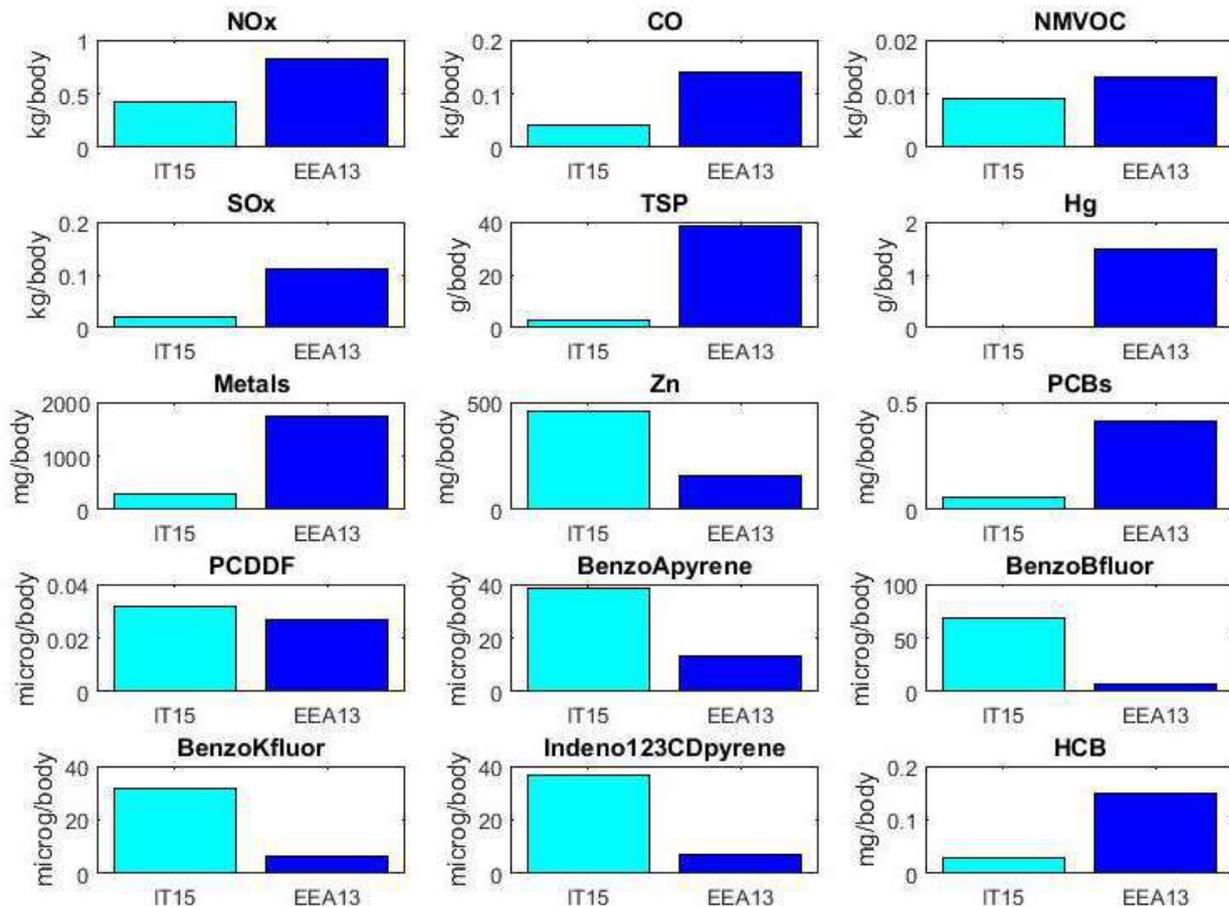


FIGURA 30 – CONFRONTO VALORI DI RIFERIMENTO (IN AZZURRO I VALORI DESUNTI DALL’INDAGINE, IN BLU I VALORI GUIDEBOOK EEA 2013).

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dopo una richiesta a tutti i gestori dei crematori italiani di fornire informazioni sui rilievi delle emissioni recentemente effettuati, sono stati analizzati i risultati relativi alle risposte fornite da 43 gestori per complessive 50 linee di cremazione in Italia.

Le risposte fornite provengono da impianti che, complessivamente, rappresentano il 74% delle cremazioni complessive – di salme e resti mortali – sul totale nazionale del 2014 (109.486 su 147.367).

Rispetto ai valori guida dell’emission inventory EEA (2013)¹, l’inquinamento atmosferico prodotto dai crematori italiani è generalmente inferiore. In tabella 4 si può notare come vi sia almeno un ordine di grandezza di differenza nei valori rappresentativi dei flussi di massa, per il monossido di

¹ Da ricordare che i valori del guidebook EEA non sono in nessun caso da considerarsi valori limite per la salute, ma valori indicativi basati su indagini precedenti e sulla letteratura allo scopo di rappresentare e stimare i flussi di inquinanti provenienti da un particolare tipo di sorgente.

carbonio, gli SO_x, le polveri totali, i metalli pesanti e in particolare il mercurio. Sono in linea come ordine di grandezza, ma comunque inferiori, i valori di NO_x e NMVOC (TOC); in linea e di poco superiori i valori delle diossine e dello zinco (anche se in questo caso cautelativamente sono stati considerati solo impianti autorizzati alla cremazione con zinco). Graficamente questi risultati sono riportati in figura 30.

Nella tabella 5 si riportano i valori tipici e massimi rilevati di concentrazione e flusso di massa (per ora) dei diversi inquinanti analizzati nell'indagine a confronto con le soglie di rilevanza e i valori massimi esposti nell'allegato I alla parte V del D. Lgs. 152/2006.

I valori di flusso di massa rappresentativi e massimi sono riportati da “per body” a valori per ora considerando il tempo medio di cremazione al suo 16esimo percentile, cioè 90 minuti (prudentemente). La portata d'aria considerata è il suo valore tipico (mediana, 1.959 Nm³/h).

I valori massimi in tabella 5 non sono gli stessi di tabella 4 (“limite superiore” dopo analisi statistica); sono i **massimi valori osservati** tra tutti i rapporti di analisi fumi su tutti i crematori disponibili (colonna “max” dell'Allegato 1) – una condizione **estremamente gravosa e cautelativa**, che include anche quei pochi valori eccezionali, identificati come *outliers* nelle analisi statistiche precedenti: risalta infatti la loro eccezionalità soprattutto attraverso il confronto con i valori medi rappresentativi.

I valori di concentrazione limite assumono rilevanza solo se è rilevante il flusso di massa – questo si verifica in un unico caso, quello delle polveri totali per un caso già identificato e scartato come fuori scala (*outlier* - si veda sezione apposita sulle polveri al capitolo di analisi dei dati) - ma vengono riportati comunque come riferimento.

Si può concludere innanzitutto che tutte le analisi dei fumi fornite (eccezion fatta per il valore di HCl in un caso) rispettano i valori limite del D.Lgs 152/2006, anche con i valori massimi osservati.

In secondo luogo si può altresì notare che i valori rappresentativi, desunti dall'analisi statistica dei dati forniti dai crematori, sono di diversi ordini di grandezza inferiori rispetto ai limiti.

Un ulteriore confronto è possibile con i valori raccomandati nel Libro Bianco dell'European Crematoria Network (2008), riportato in tabella 6. Sono stati presi a riferimento i valori dell'84esimo percentile dall'analisi (si veda tabella 3), ad indicare come la grande maggioranza dei crematori italiani rientri ampiamente in questi standard.

TABELLA 5: VALORI RISCONTRATI NELL'INDAGINE A CONFRONTO CON I VALORI DLGS 152/2006

INQUINANTE	FLUSSI DI MASSA				CONCENTRAZIONI			
	Unità	Valore rapp. da analisi	Valore massimo registrato	Soglie di rilevanza allegato I – parte V Dlgs 152/2006	Unità	Valore rapp. da analisi	Valore massimo registrato	Valori limite allegato I – parte V Dlgs 152/2006
NOx (come NO2)	kg/h	0.283	0.8130	5	mg/Nm ³	144.9	415	500
CO	kg/h	0.027	0.1783		mg/Nm ³	13.6	91	
NMVOG* (TOC)	kg/h	0.006	0.0174		mg/Nm ³	3.1	8.9	
SOx (come SO2)	kg/h	0.016	0.2741	5	mg/Nm ³	8	139.9	500
TSP (polveri totali)	g/h	1.953	238.9	100	mg/Nm ³	1.0	122	150
Hg	g/h	0.004	0.1665	1	mg/Nm ³	0.002	0.085	0.2
Cd	mg/h		99.9	500	mg/Nm ³		0.051	0.1
As	mg/h		235.08	5000	mg/Nm ³		0.120	1
Cr	mg/h		333.03	5000	mg/Nm ³		0.170	1
Ni	mg/h		28.99	5000	mg/Nm ³		0.015	1
Totale metalli pesanti	mg/h	183.300	458.4	25000	mg/Nm ³	0.0940	0.234	5
Zn (autorizzati)	mg/h	308.100	5583.15		mg/Nm ³	0.158		
Somma PCBs	mg/h	0.039	0.039	500	mg/Nm ³	2.2 10⁻⁵	-	0.5
Somma PCDD/F	µg/h	0.021	133.21	20000	ng/Nm ³	0.011	68	10000
Somma IPA**	mg/h	0.107	46.04	500	µg/Nm ³	0.055	23.5	100
Benzo(a)pyrene**	µg/h	25.933	78.55	500000	µg /Nm ³	0.0133	0.04	100
Benzo(b)fluoranthene**	µg/h	45.633	235.08	500000	µg /Nm ³	0.0234	0.12	100
Benzo(k)fluoranthene**	µg/h	21.253	86.78	500000	µg /Nm ³	0.0109	0.044	100
Indeno(1,2,3-cd)pyrene**	µg/h	24.647	251.73	500000	µg /Nm ³	0.01264	0.129	100
HCB HexaClBenzene**	mg/h	0.019	0.019		µg /Nm ³	0.010		
HCl	g/h	7.647	115.6	300	mg/Nm ³	1.07	59	30
HF	mg/h	0.667	1.56	50000	mg/Nm ³	0.2	0.8	5

TABELLA 6: VALORI RICONTRATI NELL'INDAGINE (84ESIMO PERCENTILE) A CONFRONTO CON I VALORI MASSIMI RACCOMANDATI NEL LIBRO BIANCO EUROPEAN CREMATORIA NETWORK (2008).

INQUINANTE	Unità	Pct 84 (da tabella 3)	Raccomandazioni Libro Bianco ECN
Polveri	mg/Nm ³	6.1	10
Mercurio (Hg)	mg/Nm ³	0.0118	0.2
Diossine/furani	ng/Nm ³	0.064	0.1
Monossido di carbonio (CO)	mg/Nm ³	34.14	50
Ossidi di azoto (NOx)	mg/Nm ³	215.6	500
Acido cloridrico (HCl)	mg/Nm ³	8.92	30
Ossidi di zolfo (SOx)	mg/Nm ³	22.32	50
Componenti organici volatili (totali COV)	mg/Nm ³	5.6	20

In generale, si nota la presenza nel campione di numerosi crematori di recente avvio o con recente rinnovo linee, e la presenza di sistemi di abbattimento avanzati (in un unico caso vi è lo scarico diretto in atmosfera).

Il quadro emerso sulla dotazione di sistemi di abbattimento inquinanti è in tabella 7.

TABELLA 7: SISTEMI DI ABBATTIMENTO UTILIZZATI COME COMUNICATO DAI GESTORI DEI CREMATORI

Sistema filtrante a secco	Filtro a maniche	11
	Altri sistemi	3
Sistema filtrante a secco e ciclone con addizione di:	Sorbalite	11
	Altre sostanze (es. carboni attivi)	7
Scarico diretto in atmosfera		1
Nessuna informazione		17

La stima della correlazione tra i sistemi filtranti e il livello delle emissioni è un possibile futuro sviluppo di studio.

Per ora, la dimensione comunque limitata del campione e soprattutto l'impossibilità di determinare con certezza il momento di esecuzione delle misure (ad esempio: poco dopo l'avvio? A regime? Come valore registrato in un determinato arco temporale?, con o senza interruzione?) e soprattutto cosa è stato cremato al momento dei rilievi – fattori che influenzano le emissioni certamente al pari del sistema filtrante - suggeriscono prudenza nell'effettuare questo esercizio.

Si ritiene comunque importante ribadire quanto scritto nel già citato Libro Bianco ECN: “..., l'installazione dei filtri non è la “soluzione miracolosa” per il controllo dei fumi e va, invece, raccomandata, prima ancora dei filtri, la valutazione dei materiali con cui sono fabbricate le bare, i loro contenuti e l'impianto di cremazione, a monte dei sistemi filtranti...”

Lavorare sui materiali prima ancora che sui filtri consentirebbe, tra l'altro, di evitare la costruzione di sistemi di abbattimento eccessivamente costosi in rapporto al flusso di inquinanti.

In generale, come ipotizzato nell'introduzione, l'adozione di norme oggettivamente restrittive per l'Italia, la particolare sensibilità recente anche dell'opinione pubblica sul tema delle emissioni inquinanti e la buona prassi dei controlli paiono aver alzato il livello tecnologico degli impianti di cremazione italiani, restituendo valori di emissioni mediamente limitati.

Va mantenuto questo livello di attenzione e controllo sulle emissioni, ricordando che la valutazione degli inquinanti emessi dai crematori non è obiettiva se non si tiene conto, in uno sguardo complessivo, delle masse in gioco: l'importanza delle emissioni dei crematori in rapporto a molte altre sorgenti di inquinanti è certamente limitata.

Bibliografia

- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013
<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- European Crematoria Network, “Cremazione e rispetto per l’ambiente - Raccomandazioni dei gestori di crematori poste all’attenzione di Autorità regionali, nazionali ed europee - Libro Bianco” Bruxelles, 30 maggio 2008, www.eurocrematoria.eu
- Mari M., Domingo J. L., 2010. Toxic emissions from crematories: a review, *Environment International* 36 (2010) 131–137
- Santarsiero, G. Settimo, G. Cappiello, G. Viviano, E. Dell’Andrea, L. Gentilini, 2005. Urban crematoria pollution related to the management of the deceased. *Microchemical Journal*, 79 (2005) 307– 317, Science Direct, Elsevier. Available via
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026265X0400205X>

ALLEGATO 1**Allegato 1 – Tipologia minimale di misurazioni richieste per ogni crematorio**

CREMATORIO: _____	Unità di misura	Valore		
		MED	min	max
PORTATA MEDIA NORMALIZZATA SECCA	Nm ³ /h			
TEMPO MEDIO PER UN CICLO DI CREMAZIONE DI CADAVERE	min			
PERIODO EFFETTUAZIONE MISURE (Data, ora e durata campionamenti)				
INQUINANTI				
NOx (come NO2)	mg/Nm ³			
CO	mg/Nm ³			
NMVOC*	mg/Nm ³			
SOx (come SO2)	mg/Nm ³			
TSP (polveri totali)	mg/Nm ³			
Pb	mg/Nm ³			
Cd	mg/Nm ³			
Hg	mg/Nm ³			
As	mg/Nm ³			
Cr	mg/Nm ³			
Cu	mg/Nm ³			
Ni	mg/Nm ³			
Se	mg/Nm ³			
Totale metalli pesanti	mg/Nm ³			
Zn (se disponibile)	mg/Nm ³			
Somma PCBs**	mg/Nm ³			
Somma PCDD/F ***	ng/Nm ³			
Somma IPA****	µg/Nm ³			
Benzo(a)pyrene (se disponibile)	µg/Nm ³			
Benzo(b)fluoranthene (se disponibile)	µg/Nm ³			
Benzo(k)fluoranthene (se disponibile)	µg/Nm ³			
Indeno(1,2,3-cd)pyrene (se disponibile)	µg/Nm ³			
HCB Hexachlorobenzene (se disponibile)	µg/Nm ³			
HCl	mg/Nm ³			
HF	mg/Nm ³			
<p>* Composti organici volatili totali ** Policlorobifenili ***Diossine + Furani per tossicità equivalente I-TEQ ****Idrocarburi policiclici aromatici.</p> <p>Valori di concentrazione espressi alle condizioni di riferimento (aria secca a 101.3 kPa, 273 K con 11% O2)</p> <p>Specificare data, ora e durata dei campionamenti.</p> <p>Ove non siano disponibili valori minimi e massimi, ad esempio per singolo campionamento, compilare solo la colonna "Valore MED"</p>				

N.B. Inviare copia delle misurazioni effettuate da laboratorio/ditta specializzata, preferibilmente con il modulo già compilato. E' possibile inviare la sola copia delle misurazioni contenente almeno gli inquinanti sopra elencati.