



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI UDINE

---

Facoltà di Ingegneria

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Gestionale e Meccanica

## **Aspetti tecnico ambientali di un crematorio**

1. Connotare l'attività di cremazione in termini sociali, tecnici e ed ambientali
2. Connotare l'attività di cremazione dal punto di vista Normativo – ambientale e l'esistenza o meno di metodologie di analisi - riportare i valori normativi di emissione nei paesi europei e in Italia
3. Connotare l'attività di cremazione dal punto di vista delle tecnologie di abbattimento degli inquinanti
4. Valori di emissioni di diossine
5. Valori di incidenza di emissioni di diossine in relazione ad altre attività
6. Valori di emissioni di mercurio
7. Vita utile di un crematorio e sue prestazioni tecnologiche nel tempo
8. Dati di emissioni prodotte da Enti Autorizzati (ARPA, USL, ecc.) per impianti operativi
9. Giudizio complessivo sull'impatto ambientale di un Crematorio operativo.



(prof. Giacchino Nardini)

## 1. Connotare l'attività di cremazione in termini sociali, tecnici e ed ambientali

L'effettuazione della cremazione risponde ad esigenze della collettività sotto il profilo igienico-sanitario, culturale e di servizio sociale.

- **Igienico sanitario** in quanto la cremazione è una pratica di per sé igienizzante largamente praticata nella storia ed in particolare nelle crisi di tipo ambientale.
- **Culturale** in quanto, la Chiesa ha rimosso impedimenti di ordine religioso sensibilizzata e conscia delle necessità della pratica di cremazione per affrontare i problemi sociali e di impatto ambientale- sanitario di una inumazione diffusa.
- **Sociale** in quanto la cremazione è una pratica richiesta da un numero sempre maggiore di cittadini – Nei paesi più sviluppati la percentuale è dell'ordine del 50%, in Nord Italia la percentuale ha già superato il 20% con un trend crescente. Anche se delicato dal punto di vista etico è necessario riportare le implicazioni economiche: per il Cittadino congiunto del defunto da cremare, oltre a essere determinata da ragioni etiche, morali e religiose comporta meno oneri (circa 500 euro) rispetto alla tumulazione che solo per l'estumulazione programmata prevede una spesa di circa 1.300 euro; per il Comune le implicazioni economiche sono molto più rilevanti legate alla gestione dei cimiteri, gli spazi, le costruzioni, gli aspetti ambientali e sanitari.

*L'utilizzo intensivo della cremazione è una caratteristica dei paesi socialmente e civilmente più evoluti, in quanto l'impatto ambientale e sociale, in termini complessivi, della cremazione è grandemente meno impattante dell'inumazione.*

### Sviluppo della cremazione

Gli impianti di cremazione rappresentano una tipologia impiantistica che si sta diffondendo sostituendo in parte la tumulazione. L'abbandono del divieto di cremarsi da parte della Chiesa Cattolica nel 1963 ha contribuito in modo significativo allo sviluppo di impianti crematori in tutta Europa. Attualmente nel continente europeo sono installati più di 1.000 crematori, mentre in Italia gli impianti operativi sono circa 50. In tabella 1 si riporta l'andamento dal 2003 al 2011 delle cremazioni in Italia.

*Tabella 1 Relazione tra numero di decessi e di cremazioni su base annua*

	2003	2006	2009	2011
Decessi	586.468	557.892	591.663	602.021
N° sepolture tradizionali	543.486	503.850	519.765	517.238
<b>N° cremazioni</b>	<b>42.982</b>	<b>54.042</b>	<b>71.898</b>	<b>84.783</b>
<b>%sepolture totali</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>	<b>12%</b>	<b>14%</b>
Tasso di crescita		26%	33%	18%

In tabella 2 si riporta un'ulteriore analisi che dimostra come vi sia una forte differenza nell'impiego della pratica della cremazione tra Nord e Sud Italia:

*Tabella 2 Numero di cremazioni per macroregione*

Macro regione	2003	2006	2009	2011	%
Centro Nord	37.483	46.516	62.477	72.452	27%
Centro Sud	5.499	7.526	9.421	12.331	3%
<b>Totale Italia</b>	<b>42.982</b>	<b>54.042</b>	<b>71.898</b>	<b>84.783</b>	<b>14%</b>

## 2. Connotare l'attività di cremazione dal punto di vista Normativo – ambientale e l'esistenza o meno di metodologie di analisi

Esiste una **normativa stringente** per tutti i paesi europei ed occidentali in genere – La comunità europea ha emanato in merito documenti chiari e circostanziati. Inoltre gli enti locali hanno la facoltà di imporre anche valori normativi inferiori a quelli prescritti dall'unione europea.

### Limiti normativi italiani

Gli enti preposti all'autorizzazione dell'emissioni derivanti dall'attività di cremazione fanno riferimento alle Parte V allegato I del D.Lgs. n.152/2006 , “Norme in materia ambientale”. La norma dà una linea guida per quanto riguarda i limiti di emissione massimi ammissibili, però lascia libertà decisionale all'ente autorizzatore di imporre limiti di emissione specifici. In seguito (tabella 3) si espongono i limiti prescritti nella provincia di Venezia, i quali risultano essere più restrittivi di quelli imposti dal legislatore.

Tabella 3 *Limiti emissioni ammissibili per provincia di Venezia*

Sostanze emesse	Flusso di massa [g/h]
Polveri	42-48
HCl	70-80
SO <sub>2</sub>	420-480
NO <sub>2</sub>	420-480
Ossido di Carbonio	140
Metalli pesanti	7
COT	28

In ogni caso il limite massimo delle diossine è di 0,1 ng/Nm<sup>3</sup>.

### Controllo delle emissioni

I funzionari degli enti di controllo possono in ogni momento e senza preavviso, effettuare controlli in sito sulle emissioni inquinanti. Generalmente entro 15 gg a partire dalla data di messa a regime, ovvero entro 75 gg dalla data di entrata in esercizio, verranno eseguiti i referti analitici dalla Regione e dagli Enti preposti al controllo. Le analisi di controllo dei punti di emissione saranno successivamente eseguite con cadenza periodica a partire dalla data di messa in esercizio dell'attività ed i risultati saranno trasmessi agli Enti preposti al controllo.

### Metodologia analitica e modalità di controllo

I prelievi e le analisi vengono eseguiti secondo le metodiche di seguito indicate:

- UNICHIM – Manuale n. 158 – Edizione 1988 – Misure alle emissioni: strategie di campionamento e criteri di valutazione.
- UNI 10169 del maggio 2001 – Misure alle emissioni. Determinazione della velocità e della portata di flussi gassosi convogliati per mezzo di tubo di Pitot.
- UNI EN 13284 del gennaio 2003 – Determinazione della concentrazione in massa di polveri in basse concentrazioni. Metodo manuale gravimetrico.
- UNI EN 13649 dell'ottobre 2002 – Determinazione della concentrazione in massa di singoli composti organici in forma gassosa. Metodo mediante carboni attivi e desorbimento con solvente.

I campionamenti degli inquinanti dovranno essere eseguiti nelle più gravose condizioni di esercizio e quindi in termini conservativi per l'ambiente. C'è da considerare inoltre che gli enti autorizzatori prescrivono anche gli elementi che non possono mancare nell'impianto.

### **Relazione tra la potenza dell'impianto e il limite di emissione normativo**

Quanto segue vale esclusivamente per i macroinquinanti (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, polveri, Hf, ecc.). Il principio informatore delle norme è quello di proteggere l'ambiente e quindi di limitare l'immissione nel territorio di eccessivi quantitativi di inquinanti in grado di alterarne la salubrità. Gli inquinanti che si riversano nell'ambiente possono provenire da più fonti di emissione.

Le Normative di qualunque paese si preoccupano della quantità di inquinanti nell'anno e sulla base dei valori ritenuti accettabile si legifera. La quantità di inquinanti immessa nell'ambiente è il prodotto di tre dati:

- La **concentrazione di inquinanti**  $C_i$  [mg/Nm<sup>3</sup>] : ad esempio per quanto riguarda il CO il limite è di 50 mg/Nm<sup>3</sup>: vuol dire 50 mg di CO o di un altro macroinquinante per ogni metro cubo di fumi ;
- La **portata dei prodotti di combustione**  $Q$  [Nm<sup>3</sup>/h], ovvero i metri cubi di fumi che vengono emessi ogni ora ;
- La **portata di inquinanti**  $P_{inq}$  , che impatta l'ambiente è la quantità di inquinati emessa all'ora, che è il prodotto della concentrazione per la portata  $P_{inq} = Q * C_i$  [mg/h]

Il legislatore vuole limitare la portata di inquinanti emessa; a tal fine per impianti di grande portata fissa valori di concentrazione minori rispetto a quelli per gli impianti piccoli. Quindi fare un confronto, ai fini della qualità dell'aria, tra due impianti di grandezza diversa solo sulla base delle concentrazioni di inquinanti è concettualmente sbagliato. In altri termini non è affatto vero che un impianto piccolo che ha maggiori concentrazioni di inquinanti di un impianto "grande", inquina di più. Inoltre per conoscere quanto inquinante si è riversato nell'ambiente è necessario sapere quante ore all'anno l'impianto funziona (**tempo T**). Quindi l'inquinante riversato nell'ambiente è il prodotto della concentrazione per la portata per il tempo di funzionamento:

$$m_{inq} = Q * C_i * T \text{ [mg/anno]}$$

***L'impianto di cremazione che stiamo valutando è un impianto di piccolissima taglia con una portata di circa 1000 Nm<sup>3</sup>/h paragonabile come potenza termica a una caldaia di riscaldamento di un impianto condominiale di circa 300.000 kcal/h.***

### **3. Connotare l'attività di cremazione dal punto di vista delle tecnologie di abbattimento degli inquinanti**

La normativa è molto stringente per quanto riguarda la tecnologia da adottare. La comunità europea ha emesso delle normative per quanto riguarda le "Best Technologies" (BAT) da impiegare.

Le BAT sono le stesse che si possono ricavare dalle "Linee guida per la progettazione, realizzazione e gestione degli impianti a tecnologia complessa per lo smaltimento dei rifiuti urbani- HYPER IV edizione") con afferenza alla depurazione fumi esse sono:

- a) torre di reazione con iniezione di polveri di bicarbonato di sodio additivate con carboni attivi;
- b) filtro a maniche di tessuto nomex teflonato o tessuto equivalente.

Le autorizzazioni alla costruzione e alla gestione dei crematori da parte degli enti autorizzativi , tengono conto di queste tecnologie e fissano delle direttive e le tecnologie da adottare per quanto afferisce agli aspetti ambientali.

**Obblighi di progettazione e gestione** - In Italia il tempo di permanenza dei gas in camera di post-combustione dovrà essere di almeno 2 secondi alla temperatura minima di 850°C, tale da permettere l'ossidazione dei fumi di combustione e la dissociazione termochimica dei microinquinanti.

### **4. Valori di emissioni di diossine**

Qualunque tipo di attività ha un impatto ambientale, si tratta di verificarne la tipologia, la portata complessiva in emissione e le concentrazioni. In genere la normativa in Europa per gli impianti di cremazione adotta per le diossine un limite massimo pari a 0,1 ng/Nmc, questo significa una emissione pari a 0.0015 µg/ton, ovvero un valore tra i più bassi. Tenuto conto che le emissioni reali effettivamente misurate su impianti analoghi a quello previsto a Bovolenta sono state rilevate di oltre 500 volte inferiori al limite di cui sopra (0,1 ng/Nmc) e che *le più recenti su impianti crematori tecnologicamente avanzati non hanno riscontrato tracce di diossina*, il valore reale di emissione risulta evidentemente estremamente basso.

## 5. Valori di incidenza di emissioni di diossine in relazione ad altre attività

La seguente tabella è uno dei documenti più diffusi a livello europeo per confrontare i valori di inquinamento da diossine; tale tabella non comprende però i forni crematori. Per poter fare un confronto abbiamo quindi analizzato i valori di diossina rilevati in un forno crematorio analogo a quello previsto a Bovolenta : nel 2010 sono stati rilevati valori pari a 0,00018 ng/Nm<sup>3</sup> ( quindi valori circa 550 volte inferiori a quelli massimi ammessi) e nel 2012 le analisi non hanno riscontrato presenza di diossine.

Tabella 4 Emissione di PCDD/F da vari processi industriali e di combustione

Attività	Emissioni	Unità di misura	Riferimenti e note
<b>Termodistruzione</b>			
RSU impianti vecchi	120 – 300	mg/t RSU	DIIAR,1996
RSU impianti attuali	0,6 – 50	mg/t RSU	DIIAR,1996
RSU impianti avanzati	< 0,6	mg/t RSU	Standard 0,1 ngm <sup>-3</sup>
Gas di scarico	0,002 - 0,5	mg/t RSU	Eduljee e Dyke, 1996
Ospedali	20 – 200	mg/t RO	Eduljee e Dyke, 1996
Fanghi di fogna	9,0 – 77	mg/t fango secco	Eduljee e Dyke, 1996
Rifiuti chimici	> 30	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
<b>Combustioni fisse</b>			
Carbone industria	0,04 - 4,8	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
Carbone domestico	2,0 - 9,0	mg/t	Eduljee e Dyke,1996
Legno industria	1,0 – 19	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
Legno domestico	1,0 – 50	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
Paglia	17 – 50	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
Pneumatici	18	mg/t	Eduljee e Dyke,1996
<b>Combustibili mobili</b>			
Auto benzina con Pb	0,001 - 0,2	mg/km	Eduljee e Dyke, 1996
Auto benzina verde	3,0 E-04 - 0,02	mg/km	Eduljee e Dyke, 1996
Auto diesel	0,001 - 0,01	mg/km	Eduljee e Dyke, 1996
<b>Industria</b>			
Metallurgia (ferrosi)	0,7 – 10	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
Metallurgia (non ferrosi)	5,0 – 35	mg/t	Eduljee e Dyke, 1996
<b>Varie</b>			
Incendi di foreste	1,0 - 2,0	mg/t di biomassa	Thomas e Spiro, 1996
	1,0 – 28	mg/t di biomassa	Eduljee e Dyke, 1996
Gas di discarica	0,3	mg/t RSU	Eduljee e Dyke, 1996
Sigarette	1 E-07	mg/sigaretta	Hutzinger Fiedler, 1994

Per operare il confronto a questo punto per semplicità abbiamo considerato la diossina prodotta solamente da due comuni attività, il legno domestico (un fornello, una stufa o un caminetto) e la quantità di diossina prodotta in un anno da un'autovettura a benzina verde con una percorrenza media di 20.000 Km/anno, con riferimento ai valori della tabella 3 è poi molto facile fare il calcolo del loro rapporto stiamo parlando per queste due attività ( legno domestico e l'autovettura) di livelli centinaia di volte superiori al forno crematorio.

## 6. Valori di emissioni di mercurio

### Metalli pesanti (piombo, mercurio, ecc)

La presenza di mercurio è dovuto alla eventuale presenza di amalgama nelle otturazioni dentarie. L'uso dell'amalgama dentaria da parte dei dentisti e da parte dei consumatori è in sensibile calo in tutto il mondo ed è praticamente assente in Italia per ragioni estetiche, sanitarie da oltre 20 anni, sono infatti preferiti i composti ceramici. Questi cambiamenti nella pratica dentale e nelle preferenze dei consumatori stanno progressivamente portando ad una assenza di mercurio nei prodotti di combustione della cremazione.

La presenza del limite di 0,2 mg/Nm<sup>3</sup> di mercurio in alcune normative estere ed europee hanno un significato applicativo nei paesi dove la pratica dentaria di applicazione di amalgama di mercurio è ancora diffusa (quindi non l'Italia).

*Nelle analisi di emissioni effettuate negli ultimi 3 anni in un forno analogo a quello di Bovolenta, non si riscontra la presenza di mercurio.*

In ogni caso, gli impianti autorizzati sono sempre dotati di sistemi di abbattimento che prevedono la deacidificazione dei fumi, l'impiego di carboni attivi e filtri a maniche in grado di garantire la totale osservanza dei limiti normativi che riguardano anche le concentrazioni del mercurio e dei metalli pesanti.

## 7. Vita utile di un crematorio e sue prestazioni tecnologiche nel tempo

I crematori per mantenere prestazioni e capacità operative efficaci devono essere sottoposti alle dovute manutenzioni ordinarie e straordinarie: in genere le manutenzioni ordinarie sono correnti per la maggior parte delle attrezzature, mentre quelle straordinarie riguardano i refrattari e le componenti impiantistiche usurate e corrose, indicativamente ogni 4 anni. In assenza di tali manutenzioni l'impianto si deteriora rapidamente e non può essere più operativo. In sintesi un impianto industriale può mantenere indefinitamente le sue prestazioni. In genere un impianto industriale, è a fine vita per obsolescenza tecnologica.

Per ulteriore conferma di quanto sopra, è utile ricordare che le analisi di emissione riportate nel presente documento, incluse le diossine, si riferiscono ad un crematorio, analogo a quello previsto per Bovolenta, costruito 10 anni fa.

## 8. Dati di emissioni prodotte da Enti Autorizzati (ARPA, USL, ecc.) per impianti operativi

Di seguito nella tabella 5 sono riportate analisi effettuate nel 2010, nel 2012 ed i relativi limiti di legge previsti .

Tabella 5 Analisi emissione diossine emesse da un crematorio dello stesso tipo previsto a Bovolenta

	Unità misura	Anno 2010		Anno 2012	
		Valori rilevati	Limite di legge per termovalorizzatori, centrali, ecc.	Valori rilevati	Limite di legge per termovalorizzatori, centrali, ecc.
Portata secca normalizzata	Nm <sup>3</sup> /h	690	-	1026	-
Diossine e Furani (TCDD+PCDF)	ng/Nm <sup>3</sup>	0,00018	0,1	<b>non rilevabile</b>	0,1

Pertanto nel crematorio analizzato nel 2010 il valore delle diossine e dei furani (TCDD+PCDF) è di oltre 500 volte inferiore a quello previsto per legge. Nel 2012 le analisi non hanno rilevato presenza di diossine.

### Analisi dei macroinquinanti

Per questo tipo di valutazione abbiamo considerato sempre il forno crematorio dello stesso tipo di quello previsto a Bovolenta, in funzione oramai da 10 anni.

Abbiamo preso in considerazione le analisi effettuate nel 2011, nel 2012 ed i limiti di legge previsti. Le misure sono state effettuate intercettando il funzionamento degli impianti nella loro operatività generale, in altri termini senza alcuna preparazione preventiva in ordine alle manutenzioni, regolazione degli impianti e gestione dei parametri funzionali inclusi quelli afferenti alla linea di depurazione fumi. I dati, partendo dalle misure effettuate in termini di concentrazione, si riferiscono ai valori medi per ogni singolo processo di cremazione. Le prove effettuate hanno dato i seguenti risultati in termini di range di concentrazione misurati.

Tabella 6 Analisi macroinquinanti per crematorio di riferimento n° 1

	Anno 2011			Anno 2012		
	884 Nm <sup>3</sup> /h			1058 Nm <sup>3</sup> /h		
Parametro	Flusso di massa [g/h]		Concentrazione [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Flusso di massa [g/h]		Concentrazione [mg/Nm <sup>3</sup> ]
	Valori medi	Valori limite ammessi	Valori medi	Valori medi	Valori limite ammessi	Valori medi
Portata volumetrica secca normalizzata						
Polveri	0,19	48	0,2	0,3	48	0,3
Acido cloridrico HCl	4,01	80	4,6	0,5	80	0,5
Ossidi di azoto NO <sub>2</sub>	128,2	480	147,1	233,2	480	220,4
Ossidi di zolfo SO <sub>2</sub>	1,1	480	1,1	2,6	480	2,4

**Dunque tutte le analisi rispettano ampiamente i limiti imposti dalle normative e dalle autorizzazioni di legge**



Per un'ulteriore verifica sono stati considerati poi anche i valori (vedi tabella 7) di un secondo forno crematorio (sempre dello stesso tipo di quello di Bovolenta), in particolare, se si confrontano, ad esempio, i limiti del flusso di massa con i valori medi misurati e debitamente riferiti all'11% di ossigeno di riferimento, la tabella seguente espone gli ampi margini di sicurezza delle emissioni dei macroinquinanti entro cui opera il crematorio

Tabella 7 Analisi macroinquinanti per crematorio di riferimento n° 2 (misure anno 2011)

	<i>Flusso di massa [g/h]</i>	<i>Limite di autorizzazione[g/h]</i>	<i>Rapporto Limite/valore rilevato</i>
<i>Polveri</i>	0,09	42	> 460 volte
<i>Metalli pesanti</i>	0,03	7	> 230 volte
<i>HCl</i>	1,29	70	> 50 volte
<i>NO<sub>2</sub></i>	256,1	420	>1,6 volte
<i>SO<sub>2</sub></i>	1,7	420	> 240 volte
<i>CO</i>	<<1*	140	>>140
<i>COT</i>	0,9	28	>30 volte

\*al di sotto della soglia di rilevamento degli strumenti

## 9. Giudizio complessivo sull'impatto ambientale di un Crematorio operativo.

L'attività di cremazione, in termini complessivi, rispetto alla tumulazione comporta un impatto ambientale, sanitario, sociale di gran lunga inferiore. Tenuto conto della piccola potenza e che le concentrazioni effettive sono molto inferiori a quelle limite, l'impatto complessivo di un crematorio sulla qualità dell'aria, non è stato mai riscontrato da campagne di misura.

Ad oggi campagne di misura sull'ambiente prospiciente un crematorio strutturato come da norme europee e nazionali, non hanno mai rilevato differenze certe tra crematorio in funzione e crematorio spento (vedi analisi ARPAV in Provincia di Venezia nel 2010). Questo in pratica significa che le analisi non hanno riscontrato differenze misurabili nella misura del tasso d'inquinamento tra crematorio spento e crematorio acceso.

Sulla scorta dei valori effettivamente misurati in crematori italiani e il confronto con i valori imposti o rilevati in letteratura di altre attività umane, si può affermare che i Crematori operano in condizioni di sicurezza ambientale ed il loro contributo alle concentrazioni che determinano la qualità dell'aria è ininfluente. Va inoltre ribadito che quando si fanno riferimenti ad altri crematori, non si possono utilizzare dati che si riferiscono a condizioni totalmente diverse di quelle europee ; negli Stati Uniti la normativa non richiede l'utilizzo di filtri ed in Cina le normative sono ancora più permissive, a titolo di esempio un impianto crematorio in Europa costa oltre 600.000 euro, in Cina 60.000 euro.

