



Position Paper

Possibili effetti ambientali e sanitari della realizzazione di forni crematori in aree urbane.

Autori:

Agostino Di Ciaula, Maria Grazia Petronio, Giovanni Ghirga, Ferdinando Laghi, Roberto Romizi

Affiliazione:

Associazione Italiana Medici per l'Ambiente - International Society of Doctors for Environment (ISDE)

14 gennaio 2024

Indice

Pagina

1.0 Note storiche e introduzione	3
2.0 Aspetti normativi	5
3.0 Potenziali effetti ambientali e sanitari della realizzazione di forni crematori in area Urbana	7
4.0 Considerazioni sulle concentrazioni di emissione e sui sistemi di abbattimento degli Inquinanti	13
5.0 Altre problematiche generate dall'operatività di forni crematori	15
6.0 Conclusioni	16
7.0 Bibliografia	18

1.0 Introduzione e note storiche

La pratica della cremazione nacque e si sviluppò nel contesto di una più ampia *“lotta politica, ideale e di costume che ebbe luogo nei decenni a cavallo tra ‘800 e ‘900”*[1]. Dunque è figlia del pensiero moderno. *“Sullo sfondo di un Paese devastato da endemie ed epidemie, afflitto da una cronica sottoalimentazione, umiliato in tessuti urbani o rurali, privi di qualsiasi requisiti igienico, scarsi di acqua potabile, costretto a lavorare negli “ergastoli delle officine” deprivati di aria e di luce, la cultura scientifica e le forze politiche progressiste muovevano all’assalto. Gradatamente si era venuto enucleando un Partito della Sanità (...)”*[1]. E la cremazione si inserisce nell’intero progetto igienista o, per dirla con le parole di Gestri, nell’Utopia igienista, portata avanti all’epoca, da medici che rivendicano la loro funzione *“igienica, economica, morale, sociale”* [1]. Una delle prime esperienze di cremazione fu quella di Cremona (1878), cittadina che in quegli anni si andava configurando come punto di riferimento per la giovane democrazia italiana, ma anche per la cremazione. Fu però l’impatto dell’epidemia di colera negli anni 1884-85, con la grande paura che suscitò, a spingere verso la redazione del tanto agognato Codice Sanitario e verso l’estensione dei Templi crematori sull’intero territorio nazionale, tanto che al congresso di Milano del 1890 la Lega delle Società di cremazione conta 45 organizzazioni affiliate.

Successivamente lo sviluppo della cremazione avviene soprattutto al Nord ma senza una crescita significativa, fino agli anni ‘60 il numero rimane al di sotto di 1.000 all’anno.

Tale soglia viene raggiunta e superata nel decennio successivo, che si chiude con circa 2.500 cremazioni. Il trend presenta un’evidente crescita nel corso degli anni Ottanta, arrivando a superare le 15.000 cremazioni nel 1995.

La pratica della cremazione si diffonde velocemente negli anni successivi anche per effetto delle posizioni più concilianti della Chiesa. Il numero delle cremazioni in Italia inizia a salire anno dopo anno, sfiorando le 30.000 nel 2000 e superando ampiamente le 75.000 nel 2010, per raggiungere le 137.000 nel 2015[1]. Nel 2021 a fronte di 709.000 decessi sono state eseguite circa 244.000 cremazioni, con una incidenza percentuale che supera il 34% (Fonte SEFIT – Utilitalia Servizi Funebri).

Sul territorio nazionale oggi ci sono 87 forni crematori, soprattutto in Piemonte (15), Lombardia (12), Emilia-Romagna (12) e Toscana (11) mentre il fenomeno è meno diffuso al Sud.

L’evoluzione osservata nel nuovo secolo lascia intravedere un’ulteriore espansione del rito che è probabile diventi, nel giro di alcuni anni, il tipo di esequie prevalente nel Nord del paese[2].

D’altro canto, la moltiplicazione delle richieste di nuovi forni crematori ha allertato il mondo scientifico medico, preoccupato del possibile impatto che un numero rapidamente in crescita di cremazioni, e quindi di punti di emissioni da combustione, possa avere sull’ambiente e sulla salute.

In Italia, come in molte altre nazioni, il dibattito sull'inquinamento atmosferico è sempre più al centro dell'attenzione dell'opinione pubblica e scientifica, per le notevoli implicazioni di tipo sanitario (incremento di morbidità, mortalità, disabilità) ed economico (progressivo incremento della spesa sanitaria per difetto di prevenzione primaria).

Mentre molta attenzione è solitamente dedicata a fonti tradizionali di inquinamento, alimentate da combustibili fossili, quali industrie manifatturiere, traffico veicolare e riscaldamento domestico, un settore spesso trascurato ma rilevante è quello legato all'emissione di inquinanti da parte dei forni crematori. In questi casi il rischio ambientale e sanitario, correlato alle emissioni dell'impianto, è aggravato dall'assenza di una specifica normativa di settore e di efficienti e adeguate misure di monitoraggio per numerosi inquinanti emessi (in particolare, particolato ultrafine e microinquinanti). I forni crematori sono impianti destinati alla cremazione dei defunti e/o di carcasse animali. Tale processo comporta l'incenerimento attraverso trattamento termico a temperature elevate (850 – 1000°C).

Sebbene la cremazione sia stata storicamente considerata una pratica “più igienica” rispetto alla sepoltura tradizionale, evidenze scientifiche rese disponibili negli ultimi anni hanno richiamato l'attenzione sul potenziale impatto ambientale derivante da questo metodo e, di conseguenza, sulle possibili ripercussioni sulla salute delle popolazioni residenti nelle aree limitrofe a tali impianti.

I crematori, compresi quelli dotati delle tecnologie più avanzate di abbattimento delle emissioni, inevitabilmente rilasciano nell'ambiente sostanze nocive e tossiche, dannose sia per la salute umana che per l'ecosistema circostante. Gli agenti inquinanti, derivanti dalla combustione ad elevate temperature, si diffondono nell'aria anche per lunghe distanze -con una concentrazione atmosferica che diminuisce progressivamente allontanandosi dalla sorgente inquinante- e nel corso del tempo si depositano sul suolo, accumulandosi in questa matrice e causando un'alterazione dell'equilibrio chimico-fisico e biologico del terreno. Le particolari caratteristiche chimico-fisiche di alcune sostanze, definite “persistenti”, perché non facilmente biodegradabili, possono determinare contaminazione di un terreno per periodi variabili, con possibile passaggio degli inquinanti nelle falde acquifere e nella catena alimentare.

2.0 Aspetti normativi

In Italia, la mancanza di una normativa specifica e aggiornata sui forni crematori, costituisce un problema rilevante, che può avere diverse conseguenze negative. Ad oggi, infatti, ogni regione stabilisce limiti specifici in relazione alla localizzazione dell'impianto e alla tecnologia adottata.

Di seguito sono riportate le principali disposizioni legislative in merito:

- ✓ **D.P.R. 10 settembre 1990 n. 285.** Regolamento nazionale di polizia mortuaria. Stabilisce (all'art. 78) che i forni siano costruiti entro i recinti dei cimiteri e che il progetto di costruzione debba essere corredato da una relazione nella quale vengano illustrate le caratteristiche ambientali del sito, le caratteristiche tecnico-sanitarie dell'impianto e i sistemi di tutela dell'aria dagli inquinamenti.
- ✓ I cimiteri sono regolati dal **T.U. delle leggi sanitarie. Regio Decreto 1265/1934** (così come modificato dall'art. 4 della Legge 130/2001), il quale prevede che i forni crematori siano distanti almeno duecento metri dai centri abitati.
- ✓ **Circolare Ministero della Sanità n. 24/1993.** Circolare esplicativa al Regolamento di Polizia Mortuaria approvato con Decreto del Presidente della Repubblica 10 settembre 1990 n. 285.
- ✓ **Circolare Ministero della Sanità n. 10/98.** Circolare esplicativa al Regolamento di Polizia Mortuaria approvato con Decreto del Presidente della Repubblica 10 settembre 1990 n. 285.
- ✓ **Legge 130/2001** - "Disposizioni in materia di cremazione e dispersione delle ceneri", che prevede l'emanazione di un provvedimento interministeriale per definire le norme tecniche per la realizzazione degli impianti di cremazione rispetto ai limiti di emissione, agli ambienti tecnologici e ai materiali per la costruzione delle bare per la cremazione.
- ✓ **Decreto del Ministero dell'Interno 1 luglio 2002** recante: "Determinazione delle tariffe per la cremazione dei cadaveri e per la conservazione o la dispersione delle ceneri nelle apposite aree cimiteriali".
- ✓ **Decreto del Ministero dell'Interno, di concerto con il Ministero della Salute, 16 maggio 2006** recante: "Adeguamento delle tariffe per la cremazione dei cadaveri e per la conservazione o la dispersione delle ceneri nelle apposite aree cimiteriali".
- ✓ **D.Lgs. 152/2006** (T.U. sull'Ambiente e s.m.i.). Le emissioni dei forni sono regolamentate dall'Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) e sono soggette alle prescrizioni in materia di emissioni gassose in atmosfera
- ✓ **D.P.C.M. 37/2008 - "Regolamento recante norme tecniche per le cremazioni"**: Il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri (D.P.C.M.) 37/2008 fornisce dettagliate norme tecniche che gli impianti crematori devono rispettare. Tra le disposizioni contenute vi sono specifiche sulle emissioni atmosferiche, sui sistemi di filtrazione e sulla gestione delle ceneri.

Contrariamente a quanto previsto dalla L.130/2001, lo Stato non ha mai provveduto a definire *“le norme tecniche per la realizzazione dei crematori, relativamente ai limiti di emissione, agli impianti e agli ambienti tecnologici, nonché ai materiali per la costruzione delle bare per la cremazione”*.

È evidente che ci troviamo di fronte ad un vuoto normativo che, soprattutto alla luce dell'evoluzione delle tecnologie, della crescente consapevolezza sui rischi ambientali **e in considerazione della necessità e dell’obbligo normativo di ridurre i livelli attuali di inquinamento atmosferico**, richiederebbe un intervento volto a regolamentare sia l’ubicazione sia, soprattutto, i limiti, di emissione degli inquinanti.

La gestione dei forni crematori spetta ai Comuni, che ne approvano i progetti di costruzione e vigilano sulla loro conduzione. Le Regioni elaborano i “Piani Regionali di Coordinamento” per la realizzazione dei crematori da parte dei Comuni, anche in associazione tra essi, tenendo conto della popolazione residente, dell’indice di mortalità e dei dati statistici sulla scelta crematoria da parte dei cittadini di ciascun territorio comunale, prevedendo, di norma, la realizzazione di almeno un crematorio per Regione (art 6 Legge 130/2001) [3]. Mentre, come detto, le emissioni vengono autorizzate nel procedimento di AUA. Tuttavia, la mancanza di un riferimento normativo specifico che regolamenti a monte le caratteristiche costruttive dei forni, rende poi difficili sia la richiesta di limiti più cautelativi sia i controlli e i monitoraggi delle emissioni.

Eppure, anche in considerazione del ricorso sempre maggiore alla pratica della cremazione e della mancanza di norme tecniche utili ad abbattere le emissioni, questa attività potrebbe avere un considerevole impatto ambientale e sulla salute delle comunità circostanti gli impianti. Tale principio è stato recentemente riconosciuto da una sentenza del Consiglio di Stato, che, in data 03/01/2022, con sentenza n.14, emessa su ricorso del Comune di Civitavecchia, ha posto una pietra miliare in materia, statuendo che: *“I forni crematori sono industrie insalubri di 1^ classe”*, similmente agli inceneritori di rifiuti.

Sul problema è stata chiamata a pronunciarsi anche la Corte Costituzionale, che, a seguito del ricorso del Presidente pro tempore del Consiglio dei Ministri, contro la legge della Regione Puglia 16/2020 -il cui art. 1, comma 1 consente la costruzione di crematori ad una distanza inferiore ai duecento metri dai centri abitati- ha dichiarato la suddetta norma costituzionalmente illegittima, perché *“eccede le competenze regionali in ragione della violazione dei principi fondamentali della materia, di legislazione concorrente, della «tutela della salute», di cui all'art. 117 della Costituzione, terzo comma”*.

3.0 Potenziali effetti ambientali e sanitari dei forni crematori in area urbana

Per comprendere i rischi per l'ambiente e per la salute associati alle emissioni degli impianti di cremazione è essenziale considerare la composizione di tali emissioni.

La combustione dei corpi umani porta al rilascio di una miscela complessa di sostanze dannose, tra cui monossido di carbonio (CO), acido cloridrico (HCl), mercurio, ossidi di azoto (NO_x), biossido di zolfo (SO₂), composti organici volatili (COV), metalli pesanti, composti organici clorurati (ad es. diossine, furani, policlorobifenili) e particolato (PM) [4-9].

Ulteriori sostanze pericolose per la salute possono derivare dalla combustione della bara e dei tessuti/abiti con i quali viene rivestita la salma.

Il principale impatto ambientale di questi impianti riguarda, dunque, l'aria[3]. In Europa si stima che il contributo dei forni al totale delle emissioni in atmosfera costituisca circa l'1% delle emissioni nazionali per ciascun inquinante, mentre quello relativo al totale delle emissioni di diossine e furani è indicato nello 0.2%. Nel resto d'Europa l'argomento è considerato e valutato anche dal punto di vista normativo mentre in Italia le informazioni e i dati disponibili restano numericamente limitati, con la conseguenza che i livelli di concentrazione degli inquinanti provenienti da tali fonti sono ancora incerti, non correttamente verificati e probabilmente sottostimati.

Gli impatti ambientali e sanitari di alcuni dei composti emessi dagli impianti di cremazione tuttavia sono ben documentati.

Il **particolato**, costituito da particelle solide di varie dimensioni, generate dal processo di combustione, è in grado anche di veicolare numerose sostanze tossiche. Il particolato è stato classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) come cancerogeno certo (classe 1A), oltre ad essere causa ben nota di numerose patologie non oncologiche acute e croniche. Il particolato è responsabile, nel breve termine (anche entro poche ore dall'esposizione), di incrementi di morbosità e mortalità per cause cardiocircolatorie (ad es. infarti, ictus, scompensi cardiaci, aritmie) e respiratorie (ad es. riacutizzazioni di broncopatie croniche, asma) e, nel lungo termine (anni), di tumore maligno del polmone e di altri tipi di cancro, di malattie metaboliche, neurodegenerative e del neurosviluppo, di effetti negativi sulla riproduzione e sulla gravidanza.[10-14].

Un'ampia meta-analisi condotta da Raaschou-Nielsen et al [15] ha dimostrato una relazione lineare tra tumore polmonare e concentrazioni atmosferiche di particolato, tanto da consentire all'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) di suggerire che *“benefici per la salute pubblica deriveranno da qualunque riduzione delle concentrazioni atmosferiche di PM_{2.5}, sia che i valori attuali siano inferiori sia superiori ai limiti di legge”*[16].

È stato ampiamente documentato come gli effetti fisiopatologici e sanitari del particolato aumentino in misura proporzionale alla sua concentrazione atmosferica, anche per variazioni minime.

Inoltre, non esiste una soglia minima sotto la quale il particolato sia innocuo per la salute umana e qualunque concentrazione atmosferica addizionale rispetto alla situazione *ante-operam*, per quanto bassa possa essere, potrebbe avere effetti misurabili sulla popolazione esposta sia nel breve che nel lungo termine.

Il particolato costituisce, inoltre, un rischio crescente per la salute in misura inversamente proporzionale al diametro delle particelle e i forni, in analogia con altri impianti in cui si raggiungono temperature elevate, pur considerando le dovute differenze, potrebbero emettere proprio le frazioni di particolato con granulometria più fine [6] (particolato ultrafine) [17]. Le particelle di diametro inferiore a 100nm - 0.1 micron (PM 0,1) causano effetti sulla salute umana indipendentemente dalle concentrazioni atmosferiche di PM10[18] e, pertanto, meriterebbero di essere valutate in maniera specifica, mentre, come è noto, la concentrazione delle polveri ultrafini non è regolamentata da alcuna normativa, pur rappresentando un grave e comprovato rischio per la salute umana.

Inoltre, la presenza di altre sostanze tossiche (effetto *carrier*), come ad esempio i metalli o i composti organici clorurati, potrebbe avere un effetto sinergico con l'azione diretta del particolato stesso.

Il **mercurio** (Hg) genera gravi preoccupazioni per la salute pubblica, perché è tossico a concentrazioni anche minime, è altamente volatile e persistente nelle matrici ambientali, è in grado di accumularsi nella catena alimentare e particolarmente pericoloso soprattutto per esposizioni in età pediatrica e in gravidanza per le sue conseguenze sul neurosviluppo.

Il mercurio si trova nelle otturazioni dentali e durante la cremazione viene rilasciato nell'atmosfera. Uno studio del 2008, condotto nel Regno Unito, aveva stimato un contributo alle emissioni nazionali di mercurio da parte dei crematori pari al 31%[19] e uno studio recente ha rilevato come le emissioni di Hg da processi di cremazione siano pari allo 0,13–0,37 mg Nm³[5].

Con Decreto interministeriale 11 novembre 2020, è stato adottato in Italia il Piano Nazionale per l'eliminazione dell'utilizzo dell'amalgama dentale, in adempimento del Regolamento UE 2017/852 sul mercurio che, all'articolo 10, comma 3, prevede che ogni Stato membro definisca un Piano nazionale concernente le misure che intende adottare al fine di eliminare gradualmente l'utilizzo dell'amalgama dentale. Il Piano descrive le azioni necessarie a conseguire la progressiva dismissione dell'uso dell'amalgama dentale in ambito odontostomatologico, con il fine ultimo di pervenire ad una completa eliminazione di tale uso tramite misure non coercitive, entro il 31 dicembre 2024. Pertanto, ancora oggi l'amalgama al mercurio viene utilizzata, anche se sempre meno, e poiché la cremazione riguarda prevalentemente persone anziane, la presenza del mercurio nelle emissioni dei crematori costituisce di fatto un problema da considerare e da gestire.

Il mercurio non è il solo metallo emesso durante la cremazione. Come si vede nella tabella seguente (elaborazione da [5]) i processi di cremazione generano concentrazioni preoccupanti di numerosi altri

metalli tossici per la salute umana. Le concentrazioni alle emissioni di rame (Cu) e piombo (Pb) possono risultare anche da 10 a 50 volte superiori a quelle riportate per caldaie e forni industriali che utilizzano combustibili fossili [5]. La tabella confronta i fattori di emissione (EF) stimati dalla *European Environmental Agency* con quelli rilevati in due pubblicazioni internazionali concernenti crematori cinesi [5].

Metallo	EF mg/salma ^a	^b EF mg/salma	^c EF µg/salma
As	10.26 ± 2.54	13.61	11
Cd	2.46 ± 0.52	5.03	3
Cu	7.92 ± 2.21	12.43	8
Hg	386.4 ± 45.6	1490	124
Ni	11.34 ± 1.69	17	11
Pb	12.40 ± 2.61	30	19
V	12.54 ± 1.43	n.r	n.r
Zn	189.01 ± 39.66	160	n.r

EF, fattori di emissione; n.r non riportato

^a peso medio della salma, 60 kg [5]

^bEEA (European Environment Agency. Cremation, 2016). I fattori di emissione si basano su una salma di 55-70 kg (in media circa 65 kg), e si riferiscono alla cremazione non controllata, per un processo di cremazione della durata di 2 ore

^cFattore di emissione medio senza post-trattamento in Cina, da Xue et al. 2016 (<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.079>).

La pericolosità delle **diossine** e degli altri **composti organici clorurati** (ad es. policlorobifenili - PCB), che si formano in seguito a trattamento termico delle salme (così come anche a seguito di altri processi di combustione), è dovuta alla loro non biodegradabilità e dunque alla loro persistenza nell'ambiente, con potenziali fenomeni di accumulo nel suolo, nella catena alimentare e, infine, negli organismi viventi nei quali sono stati segnalati, per esposizioni a lungo termine, eccessi di tumori maligni (principalmente linfomi e sarcomi), difetti di sviluppo del feto e varie alterazioni ormonali e metaboliche.

Un lavoro pubblicato nel 2014 sulle emissioni prodotte da forni crematori in Giappone [8], che a differenza del nostro Paese si è dotato di specifiche linee guida già nel 2000, ha documentato emissioni di diossine e PCB in un *range* compreso tra 4.2 e 540 ng/Nm³ (emissione media di 1400 ng-TEQ/salma), il che dimostra un'efficacia solo parziale delle linee guida adottate nel prevenire la formazione secondaria di PCDD/F.

Wang et al. [20] hanno dimostrato, studiando i crematori di Taiwan, un'efficienza solo parziale dei filtri a manica per la rimozione delle diossine ed un'emissione non irrilevante di PCDD/F da parte di forni crematori. Lo stesso lavoro ha rilevato concentrazioni di diossine al suolo, nell'area di ricaduta

del crematorio, superiori a quelle di background di aree rurali, residenziali, urbane e industriali, dunque in grado di alterare in maniera significativa l'ambiente circostante.

Come per i metalli, considerate le particolari caratteristiche tossicologiche dei composti organici clorurati (persistenza nell'ambiente che, per alcuni congeneri può arrivare addirittura al secolo; accumulo nel suolo; trasferimento con la catena alimentare e con il latte materno; bioaccumulo), il rischio sanitario va considerato non in termini di emissioni normalizzate al m³ (concentrazioni), ma in termini assoluti.

Si consideri che l'USEPA (United States Environmental Protection Agency) fissa in soli 0.0007ng/Kg/die la quantità massima giornaliera "accettabile" di diossine assumibili (TDI) [21]. Le diossine (si tratta in realtà di oltre 200 differenti congeneri) hanno un'emivita media di circa 20 anni e tendono ad accumularsi nel tessuto adiposo, penetrando nell'organismo per la massima parte attraverso la via digestiva (con alimenti e acque contaminati) e, in quota nettamente minore, anche attraverso quella respiratoria.

È rilevante notare come il rischio di assunzione di diossine sia prevalentemente legato alla loro ingestione non solo a causa della contaminazione di suoli, falde acquifere e prodotti alimentari ma anche a causa della contaminazione della polvere domestica. Studi ben condotti e basati su ampie coorti di soggetti hanno dimostrato un incremento del rischio sanitario legato a concentrazioni critiche di PCDD/F nella polvere domestica di abitazioni localizzate entro 3-5 Km da impianti industriali che emettevano questi composti tossici[22].

È dunque molto probabile che incrementi anche minimi delle emissioni locali di PCDD/F, in considerazione delle caratteristiche di questi tossici, determinino effetti sulle matrici ambientali e sulla popolazione esposta in misura crescente all'aumentare del periodo temporale di attività dell'impianto e all'aumentare del numero di salme/carcasse animali sottoposte a cremazione.

È anche necessario sottolineare che i PCB, composti organici clorurati tossici simili alle diossine, vengono emessi dai crematori e non sono attualmente normati.

Il rischio sanitario dei composti organici clorurati, come anche quello dei metalli, andrebbe valutato, perciò, utilizzando adeguata modellistica di ricaduta, specie in presenza di allevamenti e colture.

Oltre ad emettere particolato, metalli tossici e composti organici clorurati, i crematori sono anche responsabili di **emissioni gassose** (soprattutto NO_x, ma anche SO_x, HCl, HF, NMVOCs, benzene) il cui impatto sanitario non deve essere sottovalutato.

Tra gli inquinanti gassosi gli **ossidi di azoto** (NO_x) sono particolarmente rilevanti in termini di rischio sanitario, oltre che per la loro potenzialità climalterante. Come per il particolato, non esiste un limite al di sotto del quale le concentrazioni atmosferiche di NO_x siano ritenute innocue per la salute umana; il rischio sanitario negli esposti è proporzionale alla loro concentrazione in atmosfera. Sono stati

associati all'esposizione a NO_x, nel breve termine, aumento di mortalità per tutte le cause e per cause cardio-respiratorie e, nel lungo termine, tumore maligno del polmone e ridotto sviluppo dei polmoni nei bambini. Il rischio di cancro del polmone è proporzionale alle concentrazioni atmosferiche di NO_x (incremento del rischio del 3% per ogni incremento di 10 µg/m³ delle concentrazioni atmosferiche di NO_x) e di NO₂ (incremento del rischio del 4% per ogni incremento di 10 µg/m³ delle concentrazioni atmosferiche di NO₂) [23].

Per valutare l'effetto complessivo dell'esposizione a NO_x sarebbe necessario considerare tutte le fonti che insistono nell'area oggetto di studio, come ad esempio il traffico veicolare, il riscaldamento domestico etc. L'NO_x, come è noto, può dar origine anche alla formazione di altri agenti tossicologici, come l'ozono e il particolato secondario.

Altro problema degno di rilievo è rappresentato dalle emissioni di composti volatili organici (VOCs) e di **benzene**[9].

Uno studio sui crematori di Beijing [9] ha dimostrato che, nonostante l'impiego di sistemi di filtraggio e abbattimento delle emissioni possa ridurre l'impatto emissivo di questi impianti, le emissioni sono proporzionali all'ammontare delle cremazioni, con fattori di emissione non trascurabili:

Tabella. Fattori di emissione di particolato e inquinanti gassosi, in relazione alla quantità di salme cremate. Elaborazione da [9]

Inquinante	Fattore di emissione (g/corpo)
TSP	12.5
PM10	9.3
PM2.5	3.0
CO	164.1
SO2	8.8
VOCs	19.8

Anche se dotati di sistemi di abbattimento e filtraggio delle emissioni, i crematori emettono VOCs pericolosi come benzene, propilene, acetone, acroleina, toluene, 1-butene, acetonitrile, n-dodecano, n-undecano, n-hexano[9].

Sebbene la concentrazione di emissioni di VOCs dai crematori possa non essere particolarmente elevata, essi rappresentano una delle principali fonti di inquinamento odorigeno e richiedono per questo attenzione. Il benzene, una sostanza chimica cancerogena, costituisce la percentuale maggiore (~50%) dei componenti chimici dei VOCs presenti nelle emissioni dei crematori[9].

Inoltre, l'utilizzo di sistemi di filtraggio e abbattimento degli inquinanti genera nei crematori, come effetto negativo secondario, un incremento dei livelli di emissione di NO_x, pari a circa il 25% rispetto

ai livelli generati dai crematori senza sistema di post-trattamento dei fumi, probabilmente a causa dell'influenza della regolazione della temperatura e di altri fattori chimico-fisici [9].

Infine, la cremazione di pazienti deceduti che abbiano ricevuto **terapie con isotopi radioattivi** solleva questioni particolari, riguardanti la gestione sicura dei residui radioattivi e le conseguenze ambientali e sanitarie della cremazione [24, 25]. In situazioni come queste è essenziale adottare rigorose precauzioni per evitare la liberazione di particelle radioattive nell'ambiente. In collaborazione con le autorità sanitarie si dovrebbero seguire protocolli specifici per la manipolazione sicura dei corpi durante il processo di cremazione, garantendo che eventuali isotopi radioattivi presenti siano adeguatamente rilevati e gestiti.

4.0 Considerazioni sulle concentrazioni di emissione e sui sistemi di abbattimento degli inquinanti

Nella maggior parte dei casi, le proposte progettuali di realizzazione di impianti di cremazione in area urbana (molto spesso nel contesto dell'area cimiteriale) prevedono sistemi di abbattimento degli inquinanti.

È necessario ricordare che la valutazione delle concentrazioni di emissione è solo uno degli elementi utili a stimare l'impatto ambientale e sanitario degli impianti industriali di trattamento termico, quali inceneritori e crematori.

In definitiva, le emissioni degli inquinanti sono proporzionali all'ammontare complessivo di ciò che è sottoposto ad incenerimento. Nel caso specifico dei crematori le emissioni saranno proporzionali al numero di salme incenerite e, spesso, anche al numero di carcasse di animali cremate. Queste ultime, infatti, sono sempre più frequentemente smaltite negli stessi impianti destinati alla cremazione di salme.

Tali considerazioni sono rilevanti, come in precedenza sottolineato, per le sostanze non biodegradabili e bioaccumulabili, come metalli e composti organici clorurati.

L'adozione di misure tecniche, come filtri a manica o iniezione di reagenti a base di bicarbonato e carboni attivi, potrà consentire una riduzione delle concentrazioni di emissioni di inquinanti ma non il loro annullamento e, per le motivazioni sin qui illustrate, la massa totale di inquinanti emessi continuerebbe ad originare ricadute ambientali e dunque timori per la salute dei residenti nelle aree limitrofe.

Le prestazioni dei filtri a maniche, in particolare, si abbassano in relazione alla riduzione delle dimensioni delle particelle. Questo elemento assume particolare rilievo nel caso dei crematori, considerata la frazione di particelle ultrafini emesse da questi impianti [6].

È inoltre da sottolineare che, come si vede nella tabella seguente (estratta da [9]), le emissioni da crematori cinesi dotati di impianti di post-trattamento dei fumi, sono in media più basse di quelle rilevate negli impianti europei, in particolare in riferimento alle emissioni di TSP, PM10, PM2.5, SO₂, NO_x, ma comunque non irrilevanti per le possibili conseguenze ambientali e sanitarie. Tutti gli inquinanti elencati, infatti, non hanno una soglia al di sotto della quale possano considerarsi innocui e qualunque incremento delle loro concentrazioni atmosferiche è in grado di generare incrementi proporzionali aumenti del rischio sanitario.

Table 2. Comparison of harmful air pollutants in China and abroad (g/body).

Pollutants	Average emission factor				
	Without a post-treatment system		With a post-treatment system		
	Xue et al., 2016	This study	Xue et al., 2016	This study	
TSP	140.6	545.8	15.8	12.5	38.6
PM ₁₀		498.7		9.3	34.7
PM _{2.5}		440.1		3	34.7
CO	567.8	909.5	281.4	164.1	140
SO ₂	92.7	70.6	73	26.4	113
NO _x	189.6	501.6	134.5	627.8	825
VOCs		42		20	13

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194226.t002>

La tabella seguente, tratta da Gonzalez-Cardoso G [5], mostra i fattori di emissione determinati, per ogni idrocarburo policiclico aromatico (IPA), in presenza o in assenza dei più efficienti sistemi di controllo delle emissioni.

PAH species	Controlled air supply EF mg/corpse ^a N = 12	No controlled air supply EF mg/corpse ^a N = 10	Average crematoria EF mg/corpse ^a N = 22
Naphthalene	0.07 ± 0.04	0.11 ± 0.05	0.08 ± 0.05
2-Methylnaphthalene	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01
Acenaphthylene	0.06 ± 0.02	0.21 ± 0.09	0.14 ± 0.06
Acenaphthene	<LoD	<LoD	<LoD
Fluorene	0.02 ± 0.01	0.07 ± 0.03	0.05 ± 0.03
Phenanthrene	0.28 ± 0.1	2.17 ± 0.33	0.91 ± 0.22
Anthracene	0.17 ± 0.05	<LoD	0.12 ± 0.02
Fluoranthene	1.24 ± 0.21	30.80 ± 11.9	11.08 ± 2.26
Pyrene	2.08 ± 0.38	56.46 ± 9.3	20.21 ± 3.24
Benzo [a]anthracene	1.07 ± 0.18	18.56 ± 3.2	6.91 ± 1.5
Chrysene	0.99 ± 0.15	1.42 ± 0.71	1.13 ± 0.04
Benzo [b + k]fluoranthenes	7.08 ± 1.16	42.76 ± 5.76	18.97 ± 4.52
Benzo [a]pyrene	6.55 ± 0.85	45.92 ± 6.09	19.67 ± 4.34
Dibenz [a,h]anthracene	0.29 ± 0.05	0.98 ± 0.32	6.36 ± 1.22
Indeno[123-cd]pyrene	8.22 ± 1.27	33.65 ± 4.99	16.70 ± 3.95
Benzo [ghi]perylene	18.66 ± 2.65	58.35 ± 7.55	31.88 ± 5.71
ΣPAHs	46.81 ± 5.63	291.53 ± 75.1	130.7 ± 48.6

Average corpse weight, 60 kg

<LoD lower than the limit of detection

Nel caso degli *standard* europei, i fattori di emissione per benzo[a]pirene, benzo[b]fluorantene, benzo[k]fluorantene e indeno[1,2,3-cd] pirene sono rispettivamente pari a 13,2, 7,21, 6,44 e 6,99 mg/salma, [5]. Le specie cancerogene rappresentavano, in media, il 45% del totale degli IPA [5].

L'USEPA (1990) ha riportato un fattore di emissione di 189 mg/salma conseguenti alla somma di 16 IPA. La presenza dei più moderni sistemi di filtraggio e abbattimento delle emissioni non è dunque in grado di impedire l'emissione di composti ad elevato rischio per la salute, come benzene, propilene, acetone, acroleina, toluene, 1-butene, acetonitrile, n-dodecano, n-undecano, n-hexano[9] ma anche, come descritto in precedenza, di composti organici clorurati e metalli potenzialmente accumulabili nella catena alimentare e bioaccumulabili.

5.0 Altre problematiche generate dall'operatività di forni crematori

Indipendentemente dai rischi ambientali e sanitari direttamente legati alle emissioni di inquinanti in atmosfera, appaiono di particolare rilievo i punti seguenti:

1. Consumo energetico e produzione di gas ad effetto climalterante: i forni crematori richiedono una quantità significativa di energia per il loro funzionamento. Se l'energia proviene da fonti non rinnovabili, come il carbone, il petrolio e il gas metano ciò può contribuire alle emissioni di gas a effetto serra e all'esaurimento delle risorse non rinnovabili. È inoltre da sottolineare che tutte le emissioni gassose prodotte dai forni crematori hanno comunque rilevanti effetti climalteranti. L'NO_x, in particolare, è centinaia di volte più potente della CO₂ come gas climalterante.
2. Impatto sul suolo e sulle falde acquifere: le ceneri risultanti dalla cremazione possono contenere metalli pesanti e altre sostanze tossiche. Se queste ceneri vengono disperse o smaltite in modo inappropriato, possono contaminare il suolo circostante e l'acqua.
3. Ultima considerazione riguarda l'impatto economico che un inceneritore di questo tipo potrebbe avere sui beni comuni e privati, ad esempio sul valore degli immobili (soprattutto destinati a civile abitazione) localizzati in prossimità dell'impianto.

6.0 Conclusioni

Allo stato attuale la realizzazione di forni crematori in aree urbane non è sostenuta da adeguate norme tecniche e può, pertanto, essere fonte di motivata preoccupazione per l'ambiente e la salute dei residenti nelle aree limitrofe.

I rischi sanitari e ambientali sarebbero in particolare generati da:

- ✓ emissioni in atmosfera;
- ✓ mancanza di legislazione aggiornata, in grado di garantire un controllo adeguato sulle emissioni prodotte durante il processo di cremazione e sui possibili effetti sanitari a carico dei residenti nelle aree limitrofe;
- ✓ realizzazione dell'impianto in aree densamente urbanizzate e spesso già critiche dal punto di vista ambientale;
- ✓ possibile inquinamento secondario delle altre matrici ambientali (suolo, falde acquifere) e della catena alimentare;
- ✓ possibile aumento della produzione locale di gas serra, in contraddizione con gli obiettivi nazionali ed internazionali di contenimento delle emissioni climalteranti e con costi ambientali e sanitari che sarebbero a carico dell'intera comunità;

Le considerazioni espresse nel presente documento, in definitiva, non controindicano in termini assoluti la realizzazione di forni crematori. Tuttavia, le evidenze disponibili suggerirebbero di subordinare la realizzazione di tali impianti in primo luogo **ad una verifica dell'effettivo utilizzo (o eventuale sottoutilizzo) degli impianti esistenti e ad una collegata analisi del fabbisogno, basata su dati e stime e, a seguire, ad un'attenta valutazione preliminare dell'impatto ambientale, dell'esposizione dei cittadini e dei rischi sanitari.** Gli impianti devono essere ubicati in modo da non generare esposizione diretta della popolazione. Ormai, i cimiteri sono assai spesso del tutto inglobati nelle aree urbane e, pertanto, in questo caso, non sono idonei alla localizzazione dei forni. Tra le indicazioni tecniche attualmente disponibili per la realizzazione dei forni crematori riportiamo integralmente quelle già citate e redatte nel 2018 da Valeria Tricarico e Maddalena Bavazzano, per ISPRA[3]:

- *I feretri dovranno essere introdotti nei forni privi di elementi in metallo;*
- *Dovranno essere impiegati feretri di legno dolce, non resinoso, non aromatico e non verniciato;*

- *La presenza di tessuti sintetici dovrà essere evitata (nel limite del possibile limitare guarnizioni interne, quali imbottiture, tessuti, piume, corone e simili). e dovranno essere evitate le scarpe; fa eccezione l'incenerimento successivo all'estumulazione;*
- *Dopo l'ultima immissione di aria di combustione, i gas prodotti dal processo di incenerimento devono essere portati, in modo controllato ed omogeneo, ad una temperatura di almeno 850° per almeno due secondi (tale da permettere l'ossidazione dei fumi di combustione e la dissociazione termochimica dei microinquinanti).*

*Durante il processo di incenerimento e durante il processo di abbattimento degli inquinanti presenti nei fumi, vengono prodotti **rifiuti speciali** che vanno smaltiti in discariche autorizzate in conformità alle norme di legge. In un crematorio si producono rifiuti rappresentati soprattutto da:*

- *Polveri, fanghi, filtri, reagenti ed altri rifiuti derivanti dalla depurazione dei fumi;*
- *Materie solide che restano nell'interno delle camere di combustione o che possono da queste essere evacuate.*

*Alcuni dei rifiuti prodotti (quelli sotto contrassegnati con un asterisco) sono ritenuti pericolosi ai sensi della **Direttiva 2008/98/CE** e ad essi si applicano le disposizioni della medesima Direttiva.*

*Per i rifiuti provenienti dall'attività di cremazione, in attesa di una modifica della **Decisione 2000/532/CE**, devono essere utilizzati i seguenti codici (nota ISPRA n 31098, del 20/7/2009, trasmessa dal MATTM con nota 1781 del 26/8/2009):*

- *101401 * “rifiuti prodotti dalla depurazione dei fumi, contenenti mercurio”;*
- *190107* “rifiuti solidi prodotti dal trattamento dei fumi”, da utilizzare nel caso in cui le analisi periodiche escludano che la presenza di mercurio sia significativa. Si tratta in realtà di un codice appartenente ad altra classe di rifiuti (Rifiuti da incenerimento e pirolisi di rifiuti);*
- *200140 “metalli”.*
- *Per i rifiuti derivanti dall'abrasione dei refrattari esausti e dalla raschiatura del refrattario, lo smaltimento degli stessi refrattari a fine ciclo di vita, andranno utilizzati i codici:*
- *161106, in caso di non pericolosità;*
- *161105 * in caso di pericolosità.*
- *Infine per le parti metalliche derivanti dalla separazione delle ceneri umane dai resti della cremazione:*
- *190102 “materiali ferrosi estratti da ceneri pesanti”;*
- *190199 “rifiuti non specificati altrimenti”.*

7.0 Bibliografia

- [1] Gestri L. *Le ceneri di Pisa. Storia della cremazione. L'associazionismo laico nelle lotte per l'igiene e la sanità (1882-1839)*. Edizioni Nistri-Lischi; 2001.
- [2] Breschi M, Francini M. *Il lungo lento inesorabile affermarsi del rito crematorio in Italia*. 2017.
- [3] Tricarico V, Bavezzano M. *Cremazione e ceneri, l'impatto ambientale in atmosfera*. In: ISPRA, editor.: ISPRA; 2018.
- [4] Franco DS, Georgin J, Villarreal Campo LA, Mayoral MA, Goenaga JO, Fruto CM, et al. *The environmental pollution caused by cemeteries and cremations: A review*. *Chemosphere*. 2022;307:136025.
- [5] Gonzalez-Cardoso G, Hernandez-Contreras JM, Valle-Hernandez BL, Hernandez-Moreno A, Santiago-De la Rosa N, Garcia-Martinez R, Mugica-Alvarez V. *Toxic atmospheric pollutants from crematoria ovens: characterization, emission factors, and modeling*. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27:43800-12.
- [6] Kato N, Mastui Y, Takaoka M, Yoneda M. *Measurement of nanoparticle exposure in crematoriums and estimation of respiratory deposition of the nanoparticles by number and size distribution*. *J Occup Health*. 2017;59:572-80.
- [7] Mari M, Domingo JL. *Toxic emissions from crematories: a review*. *Environ Int*. 2010;36:131-7.
- [8] Takeda N, Takaoka M, Oshita K, Eguchi S. *PCDD/DF and co-planar PCB emissions from crematories in Japan*. *Chemosphere*. 2014;98:91-8.
- [9] Xue Y, Cheng L, Chen X, Zhai X, Wang W, Zhang W, et al. *Emission characteristics of harmful air pollutants from cremators in Beijing, China*. *PLoS One*. 2018;13:e0194226.
- [10] Donaldson K, Brown D, Clouter A, Duffin R, MacNee W, Renwick L, et al. *The pulmonary toxicology of ultrafine particles*. *JAerosol Med*. 2002;15:213-20.
- [11] Donaldson K, Seaton A. *The Janus faces of nanoparticles*. *JNanosciNanotechnol*. 2007;7:4607-11.
- [12] Donaldson K, Tran L, Jimenez LA, Duffin R, Newby DE, Mills N, et al. *Combustion-derived nanoparticles: a review of their toxicology following inhalation exposure. Part I*. *FibreToxicol*. 2005;2:10.
- [13] Duffin R, Mills NL, Donaldson K. *Nanoparticles-a thoracic toxicology perspective*. *Yonsei MedJ*. 2007;48:561-72.
- [14] Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. *Particulate air pollution and acute health effects*. *Lancet*. 1995;345:176-8.
- [15] Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, et al. *Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE)*. *The lancet oncology*. 2013.
- [16] World Health Organization G. *Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project-first results*. Denmark: World Health Organization - Regional Office for Europe; 2013.
- [17] Cao L, Zeng J, Liu K, Bao L, Li Y. *Characterization and Cytotoxicity of PM_{<0.2}, PM_{0.2-2.5} and PM_{2.5-10} around MSWI in Shanghai, China*. *International journal of environmental research and public health*. 2015;12:5076-89.
- [18] Ibald-Mulli A, Wichmann HE, Kreyling W, Peters A. *Epidemiological evidence on health effects of ultrafine particles*. *JAerosol Med*. 2002;15:189-201.
- [19] Wood MD, Punt A, Leah RT. *Assessment of the mercury concentrations in soil and vegetation, including crops, around crematoria to determine the impact of mercury emission on food safety*. Liverpool2008.
- [20] Wang LC, Lee WJ, Lee WS, Chang-Chien GP, Tsai PJ. *Characterizing the emissions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from crematories and their impacts to the surrounding environment*. *Environ Sci Technol*. 2003;37:62-7.
- [21] Agency USEP. *EPA's Reanalysis of Key Issues Related to Dioxin Toxicity and Response to NAS Comments, Volume 1*. 2012.
- [22] Deziel NC, Nuckols JR, Colt JS, De Roos AJ, Pronk A, Gourley C, et al. *Determinants of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in house dust samples from four areas of the United States*. *Sci Total Environ*. 2012;433:516-22.
- [23] Hamra GB, Laden F, Cohen AJ, Raaschou-Nielsen O, Brauer M, Loomis D. *Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis*. *Environ Health Perspect*. 2015.
- [24] Yu NY, Rule WG, Sio TT, Ashman JB, Nelson KL. *Radiation Contamination Following Cremation of a Deceased Patient Treated With a Radiopharmaceutical*. *JAMA*. 2019;321:803-4.
- [25] Calais PJ. *Gaussian plume atmospheric modelling and radiation exposure calculations following the cremation of a deceased thyroid cancer patient treated with iodine-131*. *J Radiol Prot*. 2017;37:247-65