

## VULNERABILITÀ E PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO IN RELAZIONE AI RISCHI LEGATI ALL'INSTALLAZIONE DI IMPIANTI DI INCENERIMENTO DI RIFIUTI

Autori: Luisa Ferroni, Daniela Lega  
Scuola di Specializzazione in Sicurezza e Protezione, DINCE, Università di Roma "La Sapienza",  
Corso Vittorio Emanuele 244, 00186 Roma.

### 0. SOMMARIO

Scopo del lavoro è verificare l'esigenza di definire distanze di sicurezza esterne intorno agli impianti di incenerimento, segnatamente al problema dell'emissione al camino di prodotti inquinanti anche altamente pericolosi, col fine ultimo di fornire indicazioni che possano risultare utili nelle fasi di indirizzo di politiche locali di pianificazione della gestione dei rifiuti, oltrechè di stimolo ad una nuova, più articolata legislazione in materia.

### 1. INTRODUZIONE

Il D.L. 22/97, il noto Decreto Ronchi, costituisce, con le sue successive modifiche, la legge quadro alla base di tutta la nuova politica di gestione dei rifiuti in Italia, recependo le direttive comunitarie 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti degli imballaggi.

I tre concetti cardine espressi dal Decreto, che identificano le priorità di intervento nel settore dello smaltimento dei rifiuti, sono, in ordine di importanza:

1. la "prevenzione", ossia la riduzione della produzione dei rifiuti alla fonte;
2. il "recupero", inteso in primo luogo come recupero di materiali e, secondariamente, come recupero di energia;
3. lo smaltimento, che deve costituire solo lo stadio finale di un più articolato processo che prevede, comunque, le fasi iniziali di prevenzione e recupero .

Riguardo al primo punto il decreto non contiene indicazioni ben precise sulle strategie di attuazione, limitandosi ad esprimere in modo generico la necessità di incentivare quelle imprese che studiano ed attuano soluzioni tese a mitigare gli impatti legati al ciclo di vita del prodotto sull'ambiente riducendo, per esempio, gli imballaggi.

Alcune disposizioni programmatiche sono chiaramente enunciate, invece, relativamente ai concetti di recupero e smaltimento, ed in particolare:

- obbligo di incenerimento dei rifiuti solo con recupero di energia;
- autosufficienza comprensoriale in materia di impianti per lo smaltimento di rifiuti non pericolosi in ambiti territoriali ottimali;
- accesso in discarica riservato solo agli inerti ed ai residui delle operazioni di recupero e riciclaggio<sup>1</sup>.

Altra novità presente nel D.L. 22/97 è l'enunciazione di alcuni principi relativi alla pianificazione dei sistemi di smaltimento sul territorio, ed in particolare:

- ❖ il principio di "prossimità", che impone che lo smaltimento avvenga in prossimità del luogo di produzione dei rifiuti ;
- ❖ il principio di "autosufficienza", che consiste nel prevedere la realizzazione di una rete adeguata ed integrata di impianti per lo smaltimento dei rifiuti non pericolosi in ambiti territoriali ottimali salvo fatto, comunque, il predetto principio di "prossimità".

Per quanto attiene alle politiche di attuazione del D.L., dall'esame delle leggi regionali e dei relativi piani di smaltimento dei rifiuti elaborati in conformità alla Ronchi, emerge una comune linea di azione che, tra gli indirizzi previsti dal Ministero, privilegia gli interventi di incenerimento con recupero energetico

---

<sup>1</sup> Queste disposizioni programmatiche costituiscono una netta inversione di tendenza rispetto alla situazione precedente: infatti, fino alla metà degli anni '90, circa il 92% dei rifiuti finiva in discarica come "tal quale".

mentre, per probabili, maggiori difficoltà di attuazione, pone in secondo piano gli interventi mirati alla riduzione della produzione dei rifiuti alla fonte e il recupero differenziato di parte degli stessi.

Nel breve-medio termine, dunque, l'incenerimento, o termodistruzione dei rifiuti, viene prevista dagli enti locali quale principale sistema di smaltimento dei rifiuti solidi urbani. Al di là del ruolo assegnato a tale tecnologia, però, poco è stato fatto, a livello nazionale e locale, per definire linee guida operative relativamente alla individuazione del sito ottimale per la collocazione di tali impianti sul territorio. Non bisogna dimenticare, infatti, che gli impianti di termodistruzione presentano degli impatti significativi sulle diverse componenti dell'ecosistema, dalla cui valutazione non si può prescindere in fase di pianificazione del territorio, in particolare se con riferimento ad aree limitrofe a centri abitati

## **2. ASPETTI DI INQUINAMENTO ATMOSFERICO LEGATI ALLE EMISSIONI DEGLI INCENERITORI**

Tra le diverse forme di inquinamento legate alla presenza di inceneritori sul territorio, di particolare rilevanza è quella che riguarda la componente atmosfera.

La termodistruzione dei rifiuti è propriamente una reazione di combustione i cui prodotti finali aeriformi, rilasciati al camino dopo opportuna filtrazione, sono comunque ricchi di sostanze pericolose per l'uomo e l'ambiente; alcune di queste sostanze sono tipiche di tutte le combustioni, per esempio il monossido di carbonio, altre sono più direttamente dipendenti dalle caratteristiche merceologiche dei rifiuti, per esempio gli idrocarburi policiclici aromatici e l'acido cloridrico. Di seguito si riporta una breve rassegna dei principali inquinanti primari e secondari emessi tipicamente dagli inceneritori.

### ***INQUINANTI PRIMARI***

- ✓ Il monossido di carbonio, CO  
Il monossido di carbonio è un sottoprodotto tipico legato alla non completezza della reazione di combustione. Le emissioni di CO, dunque, possono essere controllate ottimizzando la combustione e ciò si può ottenere per mezzo della corretta progettazione, e quindi gestione del forno<sup>2</sup>.  
Il monossido di carbonio rappresenta un pericolo, dal punto di vista igienico sanitario, in quanto altera il metabolismo della respirazione: tende a combinarsi, infatti, con l'emoglobina del sangue in competizione con l'ossigeno e, al di sopra di certe concentrazioni, può condurre alla morte per asfissia.
- ✓ Gli ossidi di azoto, NO<sub>x</sub>  
Anche gli ossidi di azoto costituiscono un sottoprodotto tipico di qualsiasi combustione: si formano, oltre che per ossidazione dell'azoto presente nel combustibile (rifiuti), anche per reazione, a temperatura superiore ai 1000°C, dell'azoto presente nel comburente. La produzione di ossidi di azoto è controllabile, nel forno, mediante la regolazione della temperatura di processo e, in sede di filtrazione dei fumi, mediante reazioni di riduzione effettuate, generalmente, con ammoniacca.  
Gli ossidi di azoto risultano pericolosi sia per la salute degli esseri viventi, compromettendo la funzionalità dell'apparato respiratorio, sia per l'equilibrio dell'ecosistema. Gli ossidi di azoto, infatti, oltre a contribuire agli effetti delle piogge acide mediante la produzione in atmosfera di acido nitrico, svolgono un ruolo decisivo nella produzione dell'inquinamento fotochimico, causa principale della sovrapproduzione di ozono.
- ✓ Gli ossidi di zolfo  
La formazione degli ossidi di zolfo a valle dell'incenerimento è dovuta alla presenza di zolfo nei rifiuti; la concentrazione di tale inquinante, in genere, non è mai molto elevata ed è comunque facilmente rimovibile, in sede di filtrazione, per mezzo di reazioni acido-base nelle torri di lavaggio.  
Gli ossidi di zolfo, così come gli aerosol di acido solforico emessi contestualmente in ambiente, sono pericolosi per l'uomo producendo danni a carico dell'apparato respiratorio; per quanto riguarda l'entità dei danni, studi epidemiologici hanno dimostrato un acutizzarsi di tali effetti tanto maggiore è il tasso di inquinamento generale, ed in particolare quanto più alto è il tasso di concentrazione del particolato (che sembra favorire effetti sinergici tra i diversi inquinanti).

---

<sup>2</sup> In fase di gestione, i principali parametri da controllare sono la quantità e l'eccesso di aria, la turbolenza (necessaria per ottenere un buon mescolamento), la temperatura e il tempo di contatto tra i rifiuti e l'aria di combustione. In particolare, il DM 503/97 impone un rendimento di combustione pari al 99.9 %, un tempo di contatto non inferiore a 2 sec, una temperatura del forno non inferiore agli 850°C.

- ✓ **Il particolato**  
Le emissioni di particolato (particelle solide delle dimensioni dei micron), prodotte a valle di qualsiasi combustione, sono un elemento facilmente controllabile attraverso i sistemi di filtrazione (filtri elettrostatici, filtri a manica, sistemi di lavaggio, ecc.). La pericolosità igienico-ambientale del particolato è legata al fatto che, soprattutto sulla superficie della frazione più fine, si possono facilmente condensare elementi tossici quali i metalli pesanti, gli idrocarburi policiclici aromatici e le diossine. Studi epidemiologici condotti in ambiente urbano hanno evidenziato, già da tempo, la stretta correlazione esistente tra l'incremento della concentrazione del particolato ed il tasso di mortalità-morbosità nella popolazione.
  
- ✓ **Le diossine**  
La pericolosità degli impianti di termodistruzione dei rifiuti è legata, storicamente, alla temuta emissione di diossine. Le diossine, il cui meccanismo di formazione è, peraltro, ancora oggetto di discussione, possono essere emesse come sottoprodotto della combustione quando il combustibile contiene cloro<sup>3</sup>.  
Le diossine, come del resto quasi tutti i composti organoclorurati, presentano una elevata stabilità chimica che li rende dannosi per l'ambiente dove, una volta penetrati, vengono degradati con estrema difficoltà dando anche luogo a fenomeni di accumulo<sup>4</sup>.  
Per quanto riguarda l'effetto delle diossine sulla salute, la problematica è ancora abbastanza aperta relativamente agli effetti cronici: è molto complessa e contrastata, infatti, la fase di estrapolazione all'uomo dei dati, peraltro spesso contraddittori, ottenuti sulle cavie di laboratorio. Per quanto riguarda, in particolare, la cancerogenicità, la diossina è, ad oggi, stata classificata dall'OMS come probabile cancerogeno per l'uomo di classe 2B. E' noto, inoltre, che le diossine, essendo insolubili in acqua, se ingerite tendono a diffondere nel tessuto adiposo presentando effetti di bioaccumulazione.  
Per quanto riguarda gli effetti acuti, invece, le conoscenze acquisite sugli effetti diretti sull'uomo sono ormai molteplici. Sono già stati individuati e caratterizzati molti sintomi conseguenti a brevi esposizioni alle diossine. Sono noti disturbi di varia natura, principalmente cefalee, disturbi digestivi, dolori muscolari e disturbi a carico del sistema nervoso, generalmente tutti a carattere transitorio; fa eccezione solo la cloacne, che è una eruzione cutanea che può presentare effetti deturpanti difficilmente eliminabili.  
Secondo un report dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, le emissioni di diossina in relazione alla termodistruzione dei rifiuti sono in diminuzione grazie al costante sviluppo delle tecnologie di depurazione dei fumi.
  
- ✓ **Gli idrocarburi policiclici aromatici, IPA**  
Gli IPA sono una famiglia di composti a diverso peso molecolare costituiti da anelli benzenici condensati; emessi in fase gassosa nei processi di combustione incompleta, gli IPA tendono a condensare sulle particelle di fuliggine e di ceneri volanti. Dal punto di vista del rischio per la salute umana, studi epidemiologici hanno dimostrato che gli IPA veicolati dalle polveri più fini raggiungono facilmente i polmoni con gravi effetti per l'apparato respiratorio; gli IPA sono inoltre ritenuti probabili cancerogeni<sup>5</sup> e comunque, a causa della loro stabilità, tendono a dare luogo a fenomeni di bioaccumulo.  
Sempre a causa della elevata stabilità chimica, la presenza degli IPA in ambiente può arrivare ad interessare anche aree molto lontane dal luogo di emissione.
  
- ✓ **I metalli pesanti**  
Nei fumi a valle dei processi di termodistruzione sono tipicamente contenuti diversi metalli pesanti, e tra questi, i più pericolosi sono il mercurio, il piombo, il cadmio e l'arsenico. I metalli pesanti sono in

---

<sup>3</sup> Essendo ormai largamente diffuse in tutta la matrice ambientale, tracce di diossina sono state rinvenute nei suoli, nella fuliggine dei camini, nei pesci di fiume, nelle uova dei gabbiani reali e, persino, nel tessuto adiposo dell'uomo, non è stato ancora possibile stabilire con certezza se si tratta di composti naturalmente presenti in ambiente (emessi, per esempio, in conseguenza di incendi boschivi, come alcuni sostengono) o, viceversa, se trattasi di composti legati esclusivamente ad attività antropiche (a livello industriale, le maggiori fonti di immissione di diossine in ambiente, oltre alla combustione dei rifiuti, sono alcuni processi di produzione di erbicidi e l'industria della carta).

<sup>4</sup> Prima dell'incidente di Seveso si pensava che le diossine avessero un tempo di dimezzamento pari a circa 3 anni, dopo Seveso gli studi eseguiti in Italia conducono a stime di quasi 10 anni.

<sup>5</sup> Ad oggi, comunque, l'alimentazione costituisce ancora la fonte di esposizione principale agli IPA cancerogeni (quantità considerevoli di IPA sono contenuti nella parte affumicata della carne e del pesce oltre che, in generale, in tutte le parti bruciate degli alimenti).

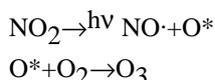
gran parte veicolati, adsorbiti o assorbiti, sul materiale particolato sospeso nei fumi, in particolare sulla frazione più fine, potendo così percorrere grandi distanze rispetto al luogo di emissione. Sotto il profilo biochimico, l'azione tossica dei metalli si esplica mediante la formazione di complessi con i gruppi -SH presenti in numerosi enzimi proteici, alterandone la funzionalità.

Il mercurio, emesso tipicamente a valle dei processi di termodistruzione di rifiuti ospedalieri, si differenzia dagli altri metalli perché è presente nei fumi principalmente sotto forma di vapore, mentre solo una piccolissima frazione solida è legata al particolato sospeso. I vapori di mercurio presentano una elevata tossicità anche allo stato elementare<sup>6</sup>, creando danni a carico del sistema nervoso centrale; il mercurio risulta particolarmente dannoso anche dal punto di vista della bio-tossicità.<sup>7</sup>

## **INQUINANTI SECONDARI**

### ✓ L'ozono

L'ozono è un inquinante secondario che si forma nella bassa troposfera a causa della decomposizione fotochimica del biossido di azoto secondo la reazione.



La produzione dell'ozono non è significativa finché tutto il monossido di azoto<sup>8</sup> presente in atmosfera non si è convertito a biossido<sup>9</sup>, essendo il biossido di azoto la sola fonte di ossigeno atomico da cui può formarsi ozono.

L'ozono risulta essere l'inquinante gassoso più pericoloso per le specie vegetali, ma ha anche effetti importanti sulla salute umana: studi epidemiologici, infatti, hanno evidenziato come l'esposizione all'ozono, sia acuta che di lungo periodo, determini cambiamenti strutturali del tessuto polmonare di tutti gli esseri viventi.

Come tutti gli inquinanti secondari, l'ozono può essere prodotto anche in aree ben distanti dai siti di produzione degli inquinanti primari<sup>10</sup>, ed è quindi da considerare un inquinante particolarmente pericoloso perché in grado di "spostare" gli effetti dell'inquinamento anche in zone teoricamente incontaminate.

### ✓ Il PAN

Un altro importante inquinante secondario è il PAN, perossiacetilnitrito. Abbastanza simile all'ozono sia come genesi di produzione<sup>11</sup> che di distribuzione sul territorio, il PAN costituisce un inquinante molto pericoloso essendo fitotossico e cancerogeno per la pelle. Generalmente la concentrazione del PAN aumenta proporzionalmente a quella dell'ozono.

Sembra opportuno ribadire, infine, che l'inquinamento fotochimico, alla base della produzione dell'ozono e del PAN, costituisce uno dei problemi centrali di tutte le metropoli, in particolare di quelle situate in zone con clima caldo temperato; in Europa, per esempio, pur registrandosi un sostanziale decremento della produzione degli inquinanti primari, si registra comunque un contemporaneo, pericoloso aumento degli inquinanti secondari.

---

<sup>6</sup> I metalli pesanti, in generale, sono pericolosi non tanto nella loro forma cationica o neutra, quanto se legati a brevi catene di atomi di carbonio.

<sup>7</sup> Il metilmercurio, che si forma nei sedimenti fangosi dei fiumi e dei laghi in presenza di condizioni anaerobiche, è un tossico molto potente per la sua solubilità nei tessuti adiposi animali, dove dà luogo a fenomeni di bioaccumulazione e biomagnificazione (aumento della concentrazione del mercurio nel passaggio fra i diversi stadi della catena alimentare).

<sup>8</sup> Il monossido di azoto e l'ozono si distruggono a vicenda secondo la reazione:  $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$

<sup>9</sup> Il biossido di azoto si forma dal monossido per reazione di quest'ultimo con i radicali liberi presenti nella bassa troposfera, essenzialmente il radicale ossidrile OH ma anche altre specie come per esempio i perossiradicali. Quando la maggior parte del monossido di azoto è stata ossidata a biossido di azoto, la decomposizione fotochimica di quest'ultimo produce nuovamente monossido di azoto, ed un atomo di ossigeno eccitato che si combina con l'ossigeno molecolare formando rapidamente ozono

<sup>10</sup> Per sostenere una elevata produzione di ozono, è sufficiente che grandi masse di aria inquinata contenenti ossidi di azoto raggiungano zone ricche di idrocarburi (sorgenti di radicali liberi); luoghi ideali sono, per esempio, le foreste di conifere.

<sup>11</sup> Il PAN si forma con gli stessi meccanismi dell'ozono, salvo che nella reazione di formazione invece del radicale OH interviene il radicale perossiacetile.

### 3. CENNI AI PRIMI ESEMPI DI NORMAZIONE INERENTI LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE DEGLI INCENERITORI

Il problema della localizzazione degli impianti di termodistruzione dei rifiuti sul territorio è stato, ad oggi, affrontato solo da pochi enti regionali e, nella maggior parte dei casi, in modo sommario e del tutto qualitativo. Dall'esame della legislazione finora prodotta emergono, infatti, solo indicazioni di larga massima, quali:

- collocazione preferenziale degli impianti di incenerimento in zone destinate ad uso industriale;
- necessità di individuazione delle aree da sottrarre alla localizzazione di tali impianti, per proteggerle da ricadute inquinanti o in relazione alla particolare destinazione d'uso (zone residenziali, zone ad alta vulnerabilità, ecc.), o per salvaguardare la specificità delle caratteristiche ambientali del luogo;
- necessità (non qualificata né quantificata!) di porre dei limiti di sicurezza per quanto riguarda le distanze dai centri abitati.

Solo la regione Toscana, nell'ambito del suo piano regionale per lo smaltimento dei rifiuti, ha definito quantitativamente le distanze di sicurezza minime da garantire tra gli impianti di incenerimento e gli insediamenti residenziali, seppur, a nostro avviso, in modo ancora troppo schematico e poco cautelativo. Il piano regionale della regione Toscana cita, infatti, quanto segue:

“.....Gli impianti di termodistruzione devono essere assimilati ad impianti industriali di media grandezza e, come tali, devono essere collocati di preferenza in zone industriali.

I siti di insediamento di inceneritori non devono ricadere in:

-aree caratterizzate da presenza di insediamenti residenziali a distanze inferiori a 200 mt, o 500 mt nel caso si tratti impianti di termodistruzione di rifiuti pericolosi;

- aree boschive o sottoposte a vincolo di rimboschimento;
- aree collocate nella fascia di rispetto delle zone di approvvigionamento idrico;
- zone sottoposte a vincolo paesaggistico ai sensi della L.431/85;
- aree destinate al contenimento delle piene;
- aree interessate da dissesto idrogeologico;
- zone di particolare interesse ambientale
- .....

La regione Toscana ha quindi individuato in 200 m la distanza di sicurezza minima tra i costruendi inceneritori e gli “insediamenti residenziali” (500 m nel caso si tratti impianti di termodistruzione di rifiuti pericolosi), presumendo che per “insediamenti residenziali” si debbano intendere tutti i centri di vulnerabilità del territorio.

Il problema che si pone è se una tale distanza minima possa essere considerata sufficientemente cautelativa, comunque applicabile a qualunque situazione “tout court”, e quindi adottabile come riferimento anche in altre realtà regionali .

Per dare una prima risposta a tale quesito, sono state effettuate una serie di simulazioni sulla distribuzione in ambiente dei principali inquinanti primari emessi in atmosfera dagli inceneritori, operando tra questi una selezione obbligata, dai modelli di simulazione, in base alla significatività delle portate in gioco; non si è tenuto conto, invece, di eventuali contributi secondari all'inquinamento locale quali quello dovuto all'intenso traffico veicolare dei mezzi della Nettezza Urbana nelle zone prossime ai siti di installazione degli inceneritori, ecc..

#### 4. VALUTAZIONI DI RICADUTA DEGLI EFFLUENTI DAL CAMINO DEGLI INCENERITORI

I fenomeni di inquinamento descritti in precedenza mettono in luce la complessità delle interazioni che si instaurano tra i prodotti delle attività industriali e l'ambiente; da tale evidenza, e dalla piena coscienza dei limiti dei risultati che si possono raggiungere, a livello di simulazione, con l'utilizzo di modelli relativamente semplificati, scaturisce la considerazione che qualsiasi valutazione di tipo previsionale sui livelli di inquinamento non debba certamente essere considerata in senso deterministico, ma consenta comunque di fornire delle indicazioni certamente utili sugli ordini di grandezza dei fenomeni.

In tale ottica, sono state condotte una serie di elaborazioni relativamente alla valutazione delle distanze di sicurezza intorno agli inceneritori, allo scopo di fornire degli spunti di discussione per un approccio al problema più articolato di quanto sembra sia stato finora, almeno in sede normativa.

Le valutazioni sono state basate su simulazioni di dispersioni di inquinanti al camino di inceneritori opportunamente caratterizzati, sul confronto dei dati ottenuti con i valori di qualità dell'aria proposti dalla legge e, infine, sul confronto tra il valore incrementale dell'apporto inquinante dovuto all'incenerimento con i valori di fondo caratteristici di diverse situazioni ambientali.

Per le valutazioni di dispersione degli inquinanti si è utilizzato un programma presentato al convegno Trento-Ambiente 2000, distribuito agli enti locali come strumento di supporto alla pianificazione. Il modello utilizzato calcola la risalita del pennacchio di fumo con le formule di correlazione proposte da Briggs, ed utilizza una soluzione di tipo gaussiano della equazione di diffusione degli effluenti in ambiente, attribuendo ai coefficienti di dispersione i valori definiti da Pasquill-Smith. Come output il programma fornisce l'andamento delle concentrazioni di ricaduta in funzione della distanza dal sito di produzione e, in particolare, la distanza alla quale si riscontra la massima concentrazione in aria dell'effluente.

I valori medi delle emissioni al camino degli inceneritori sono stati calcolati in base alle seguenti assunzioni:

- la produzione di fumi da un inceneritore è, in media, di 6.000÷6.500 Nmc per tonnellata di rifiuti bruciati;
- in base al D.M. 503/97, i livelli di emissione al camino degli inceneritori non possono superare i valori riportati di seguito:

D.M. 503/97	
Inquinante	Limite alle emissioni (D.M. 503/97)
polveri	10 mg/Nmc (media giornaliera)
HCl	20 mg/Nmc (media giornaliera)
SOx (come SO <sub>2</sub> )	100 mg/Nmc (media giornaliera)
NOx (come NO <sub>2</sub> )	200 mg/Nmc (media giornaliera)
CO	50 mg/Nmc (media giornaliera)
Cd,Tl,Hg	0,05 mg/Nmc (media giornaliera)
Metalli totali	0,5 mg/Nmc (media giornaliera)
IPA	0,01 mg/Nmc (media giornaliera)
PCDD +PCDF	0,1 ng/Nmc (campionamento di 8 ore)

In base a quanto sopra si sono desunte le quantità massime di inquinanti emesse dall'impianto tipo per unità di produzione (tonnellata di rifiuti/giorno, t/g), ovvero i valori specifici di emissione.

Gli inquinanti presi in considerazione nell'analisi sono stati gli ossidi di azoto, gli ossidi di zolfo, il monossido di carbonio ed il particolato; inoltre, si è anche simulata la distribuzione in atmosfera dell'acido cloridrico perché questo acido, seppure non rientra tra gli inquinanti regolamentati per l'ambiente esterno, costituisce un inquinante tipico a valle dei processi di termodistruzione dei rifiuti. Non si sono potute simulare, invece, le distribuzioni in ambiente dei metalli, delle diossine e degli idrocarburi policiclici aromatici in quanto i valori di concentrazione di tali inquinanti, almeno nell'ipotesi di corretto funzionamento degli impianti di filtrazione, risultano eccessivamente bassi rispetto al range di applicabilità di tutti i modelli di simulazione testati. Non si è affatto affrontato, invece, il problema degli inquinanti secondari perchè non esistono ancora modelli di simulazione completi e idonei al livello di analisi in oggetto.

I valori specifici di emissioni dei cinque inquinanti sopra citati sono stati parametrizzati in funzione di taglie di impianto di riferimento, corrispondenti alle dimensioni medie degli impianti ad oggi costruiti in Italia e in Europa, ovvero 200, 600 e 1.000 t/g di rifiuti trattati..

Altra variabile utilizzata nella simulazione è stata l'altezza del camino, parametro molto significativo per i calcoli di dispersione in atmosfera, altezza che è stata assunta di 40 o 60 m per gli impianti di incenerimento da 200 t/g, e di 60 e 100 m per gli impianti da 600 t/g ed oltre.

Per riassumere, le ipotesi di lavoro assunte nella simulazione sono le seguenti:

Produzioni di riferimento (t/g)	200	600	1.000
Altezza del camino (m)	40 o 60	60 o 100	60 o 100
Velocità di uscita dei fumi (m/s)	10	16,2	17
Temperatura dei fumi (°C)	120	120	120
Portata (Nmc/s):	17	51	85

Le condizioni di stabilità atmosferica scelte per effettuare le simulazioni, volendo dar conto di situazioni significative nell'ambito sia diurno che notturno, sono state le seguenti: A2 (condizione diurna con radiazione forte, elevata instabilità), C4 (condizione diurna con radiazione moderata, debole instabilità), D5 (condizione diurna con radiazione debole, equilibrio neutro), E2 (condizione notturna con cielo mediamente coperto, stabilità moderata).

Gli esiti delle simulazioni sono riportati nelle tabelle che seguono, dove sono indicate le distanze dalla sorgente a cui avviene il massimo della ricaduta ed il relativo valore della concentrazione dell'inquinante, in funzione delle diverse classi di stabilità atmosferica.

#### Ossidi di azoto

Classi di stab. at.	A2	C4	D5	E2
---------------------	----	----	----	----

	Camino (m)	D max (m)	C max (µg/Nmc)						
200 t/g	40	550	23,6	1.000	16,4	1.950	11,0	14.650	3,0
	60	800	13,2	1.400	8,7	3.400	5,1	20.000	0,6
600 t/g	60	1.000	56,0	1.850	39,6	4.900	22,8	20.000	0,4
	100	1.500	28,1	2.950	18,1	10.650	9,5	20.000	0,01
1.000 t/g	60	1.250	77,2	2.250	57,9	6.550	32,7	20.000	0,04
	100	1850	39,3	3.650	27,5	14.350	13,9	20.000	0,01

#### Ossidi di zolfo

Classi di stab. at.	A2	C4	D5	E2
---------------------	----	----	----	----

	Camino (m)	D max (m)	C max (µg/Nmc)						
200 t/g	40	450	8,0	850	5,0	1.550	3,2	9.550	1,6
	60	650	2,1	1.200	1,3	2.750	0,8	18.900	0,2
600 t/g	60	1.000	33,8	1.800	24,2	4.850	13,9	20.000	0,3
	100	1.500	16,9	2.950	11,2	10.650	5,7	20.000	0,01
1.000 t/g	60	1.250	46,2	2.250	34,8	6.550	19,6	20.000	0,02
	100	1850	23,6	3.650	16,5	14.350	8,3	20.000	0,02

**Particolato**

Classi di stab. at.	A2	C4	D5	E2
---------------------	----	----	----	----

	Camino (m)	D max (m)	C max (µg/Nmc)						
200 t/g	40	500	1,4	850	0,98	1.550	0,65	9.550	0,27
	60	650	0,77	1.200	0,51	2.750	0,30	18.900	0,04
600 t/g	60	1.000	2,3	1.550	1,7	4.850	0,9	20.000	0,01
	100	1.450	2,4	2.800	1,8	9.400	0,48	20.000	0,01
1.000 t/g	60	1.150	3,0	2.000	2,3	5.600	1,0	20.000	0,01
	100	1.750	2,6	3.250	2,0	12.350	0,64	20.000	0,01

**Acido cloridrico**

Classi di stab. at.	A2	C4	D5	E2
---------------------	----	----	----	----

	Camino (m)	D max (m)	C max (µg/Nmc)						
200 t/g	40	450	4,2	850	3,2	1.550	2,2	9.000	0,6
	60	650	2,2	1.150	0,82	2.500	0,47	20.000	0,08
600 t/g	60	1.000	3,0	1.750	2,7	4.300	1,4	20.000	0,02
	100	1.450	1,4	2.800	1,2	9.400	0,49	20.000	0,01
1.000 t/g	60	1.150	3,8	2.000	3,6	5.250	1,7	20.000	0,01
	100	1.650	1,8	3.150	1,6	11.500	0,64	20.000	0,01

**Monossido di carbonio**

Classi di stab. at.	A2	C4	D5	E2
---------------------	----	----	----	----

	Camino (m)	D max (m)	C max (µg/Nmc)						
200 t/g	40	450	5,3	850	4,4	1.500	2,8	8.050	0,8
	60	650	2,8	1.150	2,2	2.500	1,2	15.900	0,21
600 t/g	60	1.000	7,4	1.750	6,84	4.850	4,6	20.000	0,08
	100	1.450	3,5	2.800	3,0	9.400	1,2	20.000	0,01
1.000 t/g	60	1.150	9,5	2.000	9,0	5.250	4,4	20.000	0,01
	100	1.650	4,6	3.150	3,9	11.500	1,6	20.000	0,01

Per gli ossidi di azoto e di zolfo il primo confronto d'obbligo è senz'altro quello con i "valori guida" della qualità dell'aria fissati dal D.P.R. 203/88, riportati nella tabella che segue. Come si può notare, anche nelle condizioni atmosferiche più sfavorevoli le concentrazioni massime raggiunte in fase di ricaduta dagli ossidi di azoto e, ancor più dagli ossidi di zolfo, rientrano con notevoli margini nel range dei "valori guida". Da tale confronto sembrerebbe emergere, dunque, un sostanziale e generalizzabile "nulla osta" all'insediamento di inceneritori di tali caratteristiche sul territorio.

DPR 203/88

Inquinante	Valore limite	Descrizione	Valore guida	Descrizione
Sox (come SO <sub>2</sub> )	80 µg/mc	mediana delle concentrazioni medie delle 24 ore	40÷60 µg/mc	media aritmetica delle concentrazioni medie delle 24 ore
	250 µg/mc	98° percentile delle concentrazioni medie giornaliere in un anno	100÷150 µg/mc	valore medio delle 24 ore
Nox (come NO <sub>2</sub> )	200 µg/mc	98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora	135 µg/mc	98° percentile delle concentrazioni medie di 1 ora
			50	Mediana delle concentrazioni medie di 1 ora

Altro confronto di interesse, forse anche più pertinente del primo, risulta quello tra i dati ottenuti nella simulazione e i valori di riferimento riportati nel D.M. 12/1992, “Criteri generali per la prevenzione dell’inquinamento atmosferico nelle grandi aree urbane”: è evidente, infatti che, sia in osservanza del principio di “prossimità” enunciato dal Decreto Ronchi che per evidenti aspetti di maggior economicità, gli inceneritori di rifiuti saranno sempre e comunque costruiti in prossimità dei centri urbani.

Il D.M. 12/11/1992 introduce nuovi valori di soglia per la concentrazione ammissibile degli inquinanti in ambiente urbano, definendo il “livello di attenzione” e il “livello di allarme” che corrispondono alle concentrazioni degli inquinanti atmosferici che conducono allo stato di attenzione e di allarme<sup>12</sup> in ambito cittadino; tali valori sono riportati nella tabella che segue.

D.M. 12/11/1992

Inquinante	Livello di attenzione (µg/mc)	Livello di allarme (µg/mc)
SO <sub>2</sub> , media giornaliera	125	250
NO <sub>2</sub> , media oraria	200	400
Particolato , media giornaliera	90	180
CO , media oraria	15.000	30.000
O <sub>3</sub> , media oraria	120	240

Dal confronto tra i valori di attenzione e allarme proposti dal D.M. e le massime concentrazioni di ricaduta calcolate nella simulazione, si nota che per alcuni degli inquinanti, ed in particolare per il particolato e il monossido di carbonio, i valori dovuti all’apporto del incenerimento risultano, in assoluto, del tutto marginali: per il CO, per esempio, i valori di concentrazione massima tipici di un impianto da 600 t/g (camino alto 60 metri) rappresentano circa lo 0,5% dei valori di concentrazione che definiscono il livello di attenzione in ambiente urbano.

Si connota, invece, una situazione più critica., seppure ampiamente nei limiti, per gli ossidi di zolfo e, ancor più, per gli ossidi di azoto. Per quanto riguarda, per esempio, l’ossido di azoto si nota che i valori di concentrazione massima possono raggiungere, in condizioni medie diurne (categoria atmosferica C4) , fino al 29% del valore limite di attenzione per impianti di taglia massima (1.000 t/g con camino da 60 m), e circa il 20%, per impianti di taglia intermedia (600 t/g, con camino da 60 m).

Per l’acido cloridrico si deve fare un discorso a parte. Poiché, infatti, tale inquinante è atipico per le valutazioni di inquinamento in esterno, per valutare il potenziale rischio per la salute segnatamente alla presenza in aria di questo inquinante a valle di inceneritori, si sono confrontati i dati ottenuti in simulazione con il valore di riferimento dato dall’IDLH (Immediately Dangerous for Life and Health), che è pari a 160

<sup>12</sup> “Stato di attenzione”, situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, può condurre allo stato di allarme.  
 “Stato di allarme”, situazione di inquinamento atmosferico che, se persistente, determina una potenziale condizione di superamento dei limiti massimi di accettabilità e di rischio sanitario per la popolazione

mg/mc. Da tale confronto emerge che, anche nel caso di inceneritori da 1.000 t/g con camino da 60 metri, la concentrazione massima di ricaduta sarebbe pari solo al 2,5% del valore di soglia dato dall'IDLH.

Anche questi ultimi confronti, sempre basati sul confronto diretto tra i valori di concentrazione di ricaduta degli inquinanti e i relativi limiti di concentrazione in ambiente previsti dalle leggi, sembrerebbero riaccreditare l'accettabilità "tout court" degli inceneritori, anche ai margini di insediamenti residenziali

Valutazioni del tutto diverse, però, emergono se si confrontano, e addirittura si sommano, i livelli di concentrazione di ricaduta degli inquinanti emessi da un inceneritore con i livelli di inquinamento di fondo tipici dell'area in cui questo è, o andrà installato.

Per avvalorare quanto sopra si riportano delle valutazioni, effettuate con riferimento al solo inquinamento da ossidi di azoto, che evidenziano il diverso "peso" dell'impatto di un impianto di incenerimento in relazione al diverso ambito territoriale in cui questo dovrebbe operare.

Per caratterizzare gli ambiti territoriali si è fatto riferimento ai dati di inquinamento medi rappresentativi di una grande città (Roma), di una cittadina di provincia (riferimento mediato per alcune cittadine dell'Emilia Romagna) e di un ambito rurale (per il quale si sono assunti, come dati di riferimento, i valori guida del D.P.R. 203/88); la caratterizzazione è riportata nella tabella che segue.

Inquinante	Concentrazione tipica di una metropoli (µg/mc)	Concentrazione tipica di una cittadina (µg/mc)	Concentrazione tipica di area rurale (µg/mc)
Ossidi di azoto	160	70µg/mc	50µg/mc
Ossidi di zolfo	50µg/mc	50µg/mc	50µg/mc
Particolato	100µg/mc	70µg/mc	40µg/mc

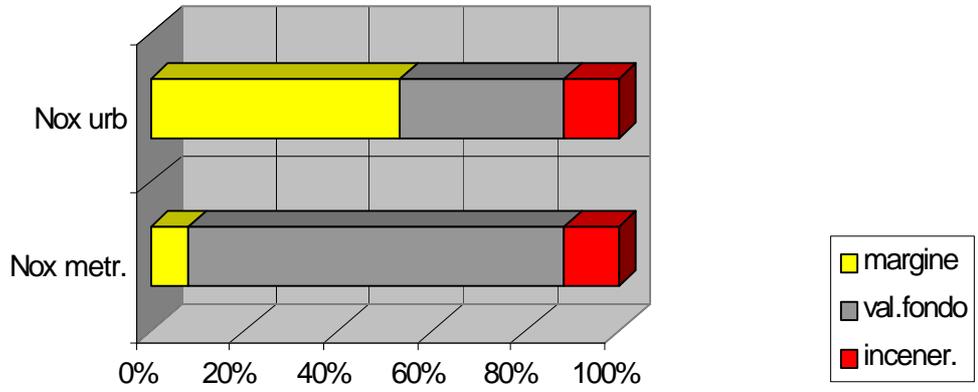
Con riferimento ai suddetti ambiti territoriali e alla installazione sugli stessi di un inceneritore da 200 t/g (con camino alto 40 m) e di un inceneritore da 600 t/g (con camino alto 60 m), nei grafici che seguono si confrontano i valori cumulativi raggiunti dalle concentrazioni di ossidi di azoto (ovvero la somma del valore di fondo e del massimo valore incrementale dovuto alla presenza dell'inceneritore) con i relativi limiti di legge (200 µg/mc, valido sia per i livelli di attenzione per l'area urbana che come valore limite della qualità dell'aria per la zona rurale). In ambedue i casi si nota quanto segue:

- nelle grandi città (metropoli), dove i livelli di inquinamento da NO<sub>x</sub> sono già molto significativi, l'aggiunta di una sorgente di emissione fissa quantitativamente così importante come un inceneritore (o un qualsiasi altro impianto con emissioni simili) può portare il "fondo cumulato", almeno in certe zone della città, costantemente e pericolosamente vicino ai valori che, attualmente, la norma definisce di "attenzione";
- le distanze cui si presentano le massime concentrazioni di ricaduta sono sempre molto maggiori dei 200 metri proposti dalla regione Toscana come distanza minima di sicurezza. Per esempio, per gli NO<sub>x</sub> di ricaduta da un inceneritore da 200 t/g (camino alto 40 m), i massimi di concentrazione si presentano, in condizioni diurne, in una fascia tra i 550 e i 1950 m di distanza dall'inceneritore.

Quanto sopra riportato evidenzia che:

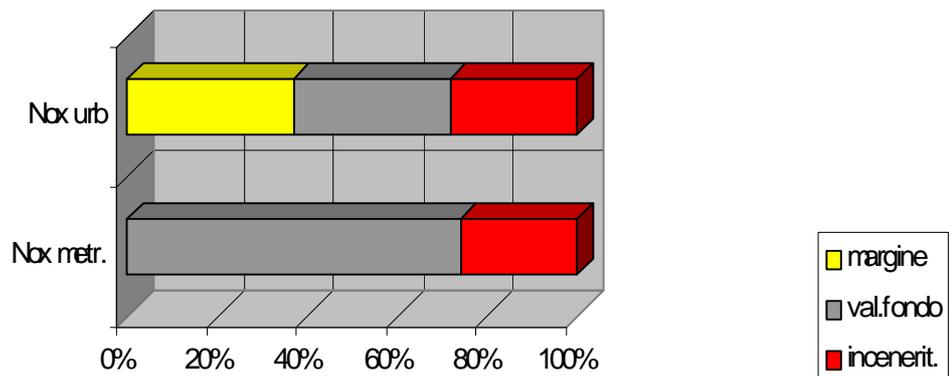
- ❖ al di là delle valutazioni effettuate sulla compatibilità "assoluta" degli inceneritori segnatamente al fatto che le emissioni e le concentrazioni di ricaduta rientrano ampiamente nella norma, quando si pesa l'inquinamento incrementale del singolo inceneritore con il fondo caratteristico dell'ambiente dove lo stesso andrebbe ad operare, ambito tendenzialmente urbano, nella maggior parte dei casi i margini di compatibilità si riducono drasticamente;
- ❖ Il problema delle distanze di sicurezza tra gli inceneritori ed i centri abitati è un problema focale che, per le molteplici variabili, dovrà senz'altro essere affrontato caso per caso; sembra comunque di poter affermare che distanze minime inferiori a 500÷800 m non siano proponibili nemmeno nei casi più favorevoli.

200t/gg Hc=40m NOx (VI=200)



	Nox metr.	Nox urb
■ incener.	23,6	23,6
■ val.fondo	160	70
■ margine	16,4	106,4

600 t/gg Hc=60m NOx (VI=200)



	Nox metr.	Nox urb
■ incenerit.	56,4	56,4
■ val.fondo	160	70
■ margine	0	73,6

## 5. CONCLUSIONI

Sembra ormai riconosciuto a livello internazionale che, per assicurare un elevato livello di protezione dell'ambiente, si debba applicare il principio secondo il quale l'impianto di produzione e l'ambiente in cui questo opera risultano oggetti mutuamente interagenti in un ciclo unitario e, pertanto, non possono essere analizzati separatamente.

E' logico, dunque, che anche in fase di programmazione e pianificazione degli inceneritori sul territorio si debba mirare a garantire, in relazione alle diverse destinazioni d'uso del territorio, i più corretti livelli di qualità ambientale attraverso un approccio analitico al problema, che consenta di commisurare il dimensionamento e la logistica degli inceneritori alle preesistenti caratteristiche ambientali di fondo delle zone in cui questi andranno ad operare.

Un corretto iter di verifica per l'inserimento sul territorio di un impianto di incenerimento, estrapolabile naturalmente per un generico impianto di produzione se caratterizzato da un elevato impatto sulla componente atmosfera, potrebbe essere il seguente:

1. verifica a norma di legge dei livelli di emissione al camino dell'impianto;
2. definizione, in base a prime valutazioni tecnico economiche, dei possibili siti di installazione dell'inceneritore;
3. per il singolo sito, acquisizione dei dati meteorologici locali;
4. per il singolo sito, acquisizione delle campagne di monitoraggio atmosferico;
5. effettuazione di una campagna di simulazioni mirata a valutare, sito per sito, la distribuzione in ambiente degli inquinanti emessi al camino dell'inceneritore;
6. per il singolo sito, confronto tra l'apporto incrementale dovuto all'inceneritore e l'inquinamento di fondo, confronto dell'inquinamento "cumulato" con i valori prescritti dalla legge;
7. scelta del sito definitivo ottimizzata in base, da un lato, ai parametri tecnico-economici, da l'altro a considerazioni di minimo impatto ambientale sul sito;
8. identificazione delle distanze di sicurezza da garantire rispetto ai centri di vulnerabilità del sito.

I punti sopra riportati, opportunamente sviluppati, potrebbero essere inseriti nelle normative regionali per lo smaltimento dei rifiuti come elementi cardine di una procedura di verifica obbligatoria, richiesta –ancora in fase di progettazione dell'impianto di incenerimento-, allo scopo di guidare il procedimento di localizzazione dell'impianto nell'ottica della la massima garanzia per la salute dei cittadini.