

## **L'inquinamento da emissioni odorigene in atmosfera**

**Elena Varotto**

Con lo studio che segue si vuole fornire una panoramica prima giuridica poi tecnica del fenomeno dell'inquinamento atmosferico derivante dalle emissioni odorigene.

In via preliminare, si descriverà la fattispecie giuridica tradizionalmente utilizzata come strumento sanzionatorio penale; secondariamente, si introdurranno le metodologie con le quali i tecnici intendono misurare scientificamente il fenomeno odorigeno, per definizione soggettivo e strettamente correlato alla sensibilità umana; per concludere con la descrizione dello strumento elettronico deputato alla registrazione del fenomeno in esame: il naso elettronico.

### **1) L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO DERIVANTE DA EMISSIONI ODORIGENE E LA NORMATIVA ESISTENTE**

In materia di emissioni in atmosfera, svolge da sempre un ruolo determinante l'art. 674 c.p. rubricato "Getto di cose pericolose" secondo il quale "*Chiunque getta o versa, in un luogo di pubblico transito o in un luogo privato ma di comune o di altrui uso, cose atte ad offendere o imbrattare o molestare persone, ovvero, nei casi non consentiti dalla legge, provoca emissioni di gas, di vapori o di fumo, atti a cagionare tali effetti, è punito con l'arresto fino ad un mese o con l'ammenda fino ad euro 206*".

Grazie alla sua duttilità, la contravvenzione in parola si presta con efficacia alla tutela penale dell'atmosfera rispetto a qualsiasi forma di inquinamento, da quello elettromagnetico a quello derivante da emissioni di gas, vapori, polveri e odori.

#### *I. I precedenti*

Nel diritto romano, la *lex Aquilia*, quando ne era noto l'autore, puniva colui che arrecava danno versando o gettando cose da una casa o da una nave in un luogo pubblico o privato di transito ("*quo vulgo iter fiet vel in quo consistetur*": l. 1 pr., D., 9,3).

La responsabilità, poi, si estendeva ad ogni possessore, non precario, dell'edificio o della nave di provenienza, il quale era soggetto ad un'azione *noxale* di doppio danno. Inoltre, nel caso il versamento avesse cagionato pericolo di morte per una persona, era concessa un'azione penale popolare di mille sesterzi contro il possessore della casa, (l. 5, 8 e segg., D., 9. 3).

Tali azioni incriminatrici trovavano fondamento nella concreta realizzazione di un danno; per esse, dunque, la causazione di un pericolo, concreto o astratto che fosse, era irrilevante.

Successivamente, il codice penale Zanardelli del 1889, all'art. 475, prevedeva una fattispecie simile a quella attuale, senza tuttavia definire l'ipotesi di emissione di gas, di vapori o di fumo.

Il codice penale sardo - italiano del 1859, al punto n. 1 dell'art. 686, puniva "*coloro che, gettano imprudentemente checchessia sulle pubbliche strade o in altri luoghi di passaggio, offendendo o lordando le persone*", come pure "*coloro che innanzi ai loro edifici ammassano, gettano od espongono cose notevoli per effetto di esalazioni insalubri*".<sup>1</sup>

## II. Art. 674 c.p. - L'interesse Tutelato

Attualmente, la protezione dell'atmosfera è garantita, oltre che dalle norme speciali, dalla contravvenzione di cui all'art. 674 c.p. sopra riportata.

Con essa il legislatore ha inteso proteggere dai pericoli derivanti dal getto o dal versamento di cose atte ad offendere, imbrattare o molestare e dalla emissione di gas, di vapori o di fumo, l'incolumità pubblica, intesa come il complesso delle condizioni che riguardano la sicurezza della vita, dell'integrità fisica e della sanità delle persone, come tali appartenenti a ciascuno<sup>2</sup>.

## III. Il carattere giuridico

La contravvenzione in esame configura un reato di pericolo, volto a proteggere in via anticipata il bene salute.

Per la sua integrazione non è richiesto il verificarsi di un effettivo nocumento alla persona, essendo di per sé sufficiente che le emissioni abbiano anche solo l'attitudine ad offendere o molestare le persone<sup>3</sup>.

Si tratta di una fattispecie a carattere istantaneo, sussistente, dunque, anche nel caso l'emissione *contra legem* sia una sola.

Tuttavia, laddove si verificano emissioni moleste (siano esse odorigene, elettromagnetiche o quant'altro...) di tipo continuativo, derivanti da un'attività produttiva che

---

<sup>1</sup> Vincenzo Manzini, "Trattato di Diritto Penale Italiano", ed. UTET, pag. 457.

<sup>2</sup> In proposito: Cass. Sez. I, 18 novembre 1993; Cass. Sez. I, 4 aprile 1997.

<sup>3</sup> Si vedano: Cass. Sez. I, 13 ottobre 1999, n. 5592; Cass. Sez. I, 4 giugno 1996, n. 8148; Cass. Sez. I, 26 ottobre 1995, n. 11868.

non abbia interruzioni - si pensi ad una discarica - la fattispecie *de qua* perde la sua valenza istantanea per acquistare carattere eventualmente permanente<sup>4</sup>.

#### VI - L'elemento oggettivo

Per quanto attiene l'elemento oggettivo, l'art. 674 c.p. con una formulazione riconducibile allo schema delle norme a più fattispecie, individua due ipotesi contravvenzionali diverse.

La prima parte è dedicata al getto (di solidi) o versamento (di liquidi) di cose atte ad offendere o imbrattare o molestare persone; la seconda parte, invece, riguarda l'ipotesi di emissioni, nei casi non consentiti dalla legge<sup>5</sup>, di gas, di vapori o di fumo.

In dettaglio.

Quanto alla prima parte dell'art. 674 c.p., il verbo "gettare" si riferisce al lancio di materie solide, mentre il verbo "versare" concerne le materie liquide o fluide, ovvero quelle solide ma ghiaiose, sabbiose o polverose<sup>6</sup>.

L'oggetto materiale del reato sono cose in sé idonee a produrre offesa, imbrattamento o molestia alle persone.

Il termine "offendere" comprende ogni lesione diversa dall'imbrattamento e dalla molestia: vi rientrano le offese alla vita e all'integrità fisica.

Il termine "imbrattare" esprime anch'esso una forma di offesa alla persona ed è sinonimo di sporcare, insudiciare. La molestia, infine, è integrata da ogni ipotesi di getto o versamento di cose che non sia in grado di offendere o imbrattare, ma possieda l'idoneità di turbare più o meno gravemente, o quanto meno in modo giuridicamente apprezzabile, la tranquillità o la quiete delle persone.

Le cose atte ad offendere, imbrattare, molestare persone devono essere gettate o versate in un "*luogo di pubblico transito*" o in un "*luogo privato ma di comune o di altrui uso*".

Per luogo di pubblico transito si intende non solo il luogo propriamente pubblico, ma anche quello soggetto a servitù di transito, nonché le vie d'acqua, come canali e porti<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> Cass. Pen., Sez. I, 13 novembre 1997, n. 2598; Cass. Pen., Sez. I, 25 marzo 1994; Cass. Pen., Sez. I, 21 novembre 1991; Cass. Pen., Sez. I, 7 dicembre 1994.

<sup>5</sup> Per la portata di tale inciso si veda *infra*.

<sup>6</sup> Vincenzo Manzini, op. cit. pag. 461; e Cass. Pen., Sez. III, 23 ottobre 2002, n. 42924.

<sup>7</sup> Si veda Cass. 2 maggio 1958, che riferisce la nozione di luogo per il quale passa normalmente un numero indeterminato di persone, non essendo sufficiente la mera accessibilità del pubblico da ogni lato.

Quand'anche il getto o il versamento non avvenga in un luogo di pubblico transito, esso è tuttavia punibile se è commesso "in un luogo privato ma di comune uso" (il codice penale del 1889 diceva invece: "recinto privato comune a più famiglie").

Quando l'uso di tale luogo sia comune a più persone, famiglie, uffici ecc., è indifferente che il luogo stesso sia in proprietà di più persone, ovvero di una sola<sup>8</sup>.

E' altrettanto irrilevante che il luogo sia di proprietà privata o pubblica, perché con l'aggettivo "privato" l'art. 674 c.p. non intende riferirsi al diritto di proprietà, bensì alla circostanza che il luogo non sia di pubblico transito.

Il "luogo privato ma di comune o di altrui uso" può essere chiuso o aperto, e non occorre che costituisca appartenenza di abitazioni.

Inoltre, non importa che esso sia più o meno frequentato in via normale; né occorre che il pubblico possa accedervi.

L'uso comune, al quale si riferisce l'art. 674 c.p. non è soltanto quello relativo all'esercizio del diritto di comproprietà unita al compossesso del luogo, ma altresì quello che è inerente a qualsiasi compossesso, o che è autorizzato dall'esercizio di diritti reali anche diversi tra loro o dalla tolleranza dell'avente diritto.

L'uso altrui, al quale deve essere soggetto il luogo perché possa presentarsi l'ipotesi in esame, può consistere in qualsiasi legittima facoltà di valersi nel luogo stesso per qualsiasi bisogno che implichi la presenza personale, spettante a un soggetto diverso da quello che compie il getto o il versamento, dipenda tale facoltà da un diritto soggettivo esclusivo, ovvero da un diritto *in re aliena* o d'obbligazione o anche dalla mera condiscendenza di chi può prestarla, in modo da escludere dall'uso ogni altra persona<sup>9</sup>. Se l'uso appartiene tanto al proprietario del luogo quanto a un terzo, si ricade nell'ipotesi dell'uso comune e lo stesso accade, se, essendo escluso dall'uso il proprietario, siano più i terzi utenti.

Così, ad esempio, nel caso l'inquilino di una camera versi in questa acqua sporca che, filtrando attraverso il pavimento, sia idonea ad imbrattare la persona che abita al piano di sotto, anche senza che tra questi vi sia alcun rapporto di comunione; o quando, trattandosi di un cortile posseduto esclusivamente da colui che abita una casa, il getto o il versamento avvenga da una finestra d'altra abitazione prospiciente sul cortile stesso.

\*\*\*

La seconda parte dell'art. 674 c.p. invece definisce l'ipotesi di colui che, "*nei casi non consentiti dalla legge, provoca emissioni di gas, di vapori o di fumo*" atte ad offendere, imbrattare o molestare persone.

Diversamente dalla fattispecie poc'anzi esaminata nel caso delle emissioni in atmosfera non è richiesta alcuna condizione di luogo.

<sup>8</sup> P. Giampietro, "Versamento pericoloso di cose", Enc. Dir. XLVI, 1993, pag. 630.

<sup>9</sup> Si veda: Cass., Sez. I, 15 maggio 1990.

L'ipotesi in esame disciplina una condotta causalmente orientata<sup>10</sup>, indifferentemente attiva o omissiva<sup>11</sup>.

Come anticipato, si tratta di un reato di pericolo, per la configurazione del quale non è richiesto l'effettivo nocumento delle persone, essendo sufficiente l'attitudine a molestare, recare fastidio, disagio, disturbo alla tranquillità e alla quiete<sup>12</sup>, tanto che non è nemmeno necessario accertarne la molestia mediante perizia tecnica<sup>13</sup>.

Inoltre, nel tempo, l'applicazione della fattispecie *de qua* ha seguito sorti diverse a seconda dell'interpretazione data dalla Corte di Cassazione all'inciso "nei casi non consentiti dalla legge".

Non si dimentichi, infatti, che l'inquinamento atmosferico è disciplinato, oltre che dalla norma penale di portata generale oggetto del presente studio, anche dall'altrettanto generale art. 844 c.c. rubricato "Immissioni", secondo il quale "*Il proprietario di un fondo non può impedire le emissioni di fumo o di calore, le esalazioni, i rumori, gli scuotimenti e simili propagazioni derivanti dal fondo del vicino, se non superano la normale tollerabilità, avuto anche riguardo alla condizione dei luoghi...*".

A ciò si aggiungano, per quanto attiene le emissioni in atmosfera soggette ad autorizzazione preventiva, gli articoli 24, 25 e 26 del D.P.R. n. 203 del 24 maggio 1988.

A causa della molteplicità delle fonti normative esistenti in materia, si è sovente presentata la necessità di interpretare la portata dell'inciso "*nei casi non consentiti dalla legge*" al fine di individuare la giusta combinazione delle "leggi" vigenti.

Secondo un primo orientamento, la Corte di Cassazione ha ritenuto configurabile la contravvenzione di cui all'art. 674 c.p. indipendentemente dal superamento dei valori limite delle emissioni stabiliti dalla legge e recepiti nelle autorizzazioni rilasciate dagli Enti competenti.

Secondo la Suprema Corte, dunque, il possedere un'autorizzazione alle emissioni in atmosfera e l'aver superato i limiti ivi previsti, comportava responsabilità penale sia ai sensi dell'art. 674 c.p., che ai sensi degli artt. 24 e 25 del D.P.R. n. 203/88 (il primo per gli impianti nuovi, il secondo in caso di impianti esistenti).

---

<sup>10</sup> A tal proposito: Cass. Pen., Sez. I, 17 novembre 1993.

<sup>11</sup> Cass. Pen., Sez. III, 28 settembre 2005, n. 38936, *inedita*, ribadisce che la contravvenzione in esame, pur avendo natura commissiva, può rientrare nella categoria di quelle commissive mediante omissione.

<sup>12</sup> Cass. Sez. I, 4 febbraio 1994, n. 1293; Cass. Sez. III, 24 novembre 1995, n. 771; Cass. Sez. I, 22 gennaio 1996.

<sup>13</sup> Cass. Sez. III, 30 gennaio 1998, n. 6141; Cass. Sez. III, 21 marzo 1998, n. 3531; Cass. Sez. I, 14 gennaio 2000, n. 407; Cass. Sez. I, 21 gennaio 1998, n. 739.

Il fatto di causare molestia alle persone era considerato di per sé sufficiente perché fosse ravvisabile la contravvenzione in esame che, al più, in caso di superamento dei limiti, si sarebbe sommata alla responsabilità ex artt. 24 o 25 del D.P.R. n. 203/88<sup>14</sup>.

Negli ultimi anni<sup>15</sup>, tuttavia, l'orientamento testè delineato ha lasciato spazio ad un diverso approccio, secondo il quale ai fini della configurabilità della fattispecie penale in esame, è necessario il superamento dei valori limite imposti dalla legge<sup>16</sup>.

L'inciso "nei casi non consentiti dalla legge" ora impone che le emissioni di gas, vapori o fumi atte a molestare le persone avvengano in violazione degli standards fissati dalla normativa di settore<sup>17</sup>.

Ai fini della configurabilità della molestia di cui all'art. 674 c.p., infatti, non è più sufficiente che le emissioni siano astrattamente idonee ad arrecare fastidio, in quanto è divenuta indispensabile la puntuale dimostrazione che le stesse superino i valori fissati dalla legge.

La Suprema Corte, in tal modo, ha riconosciuto una sorta di presunzione di legittimità nelle emissioni che non superano i limiti fissati dalle leggi speciali, così valutando il controllo preventivo svolto dalla Pubblica Amministrazione in sede di rilascio dell'autorizzazione, prevalente rispetto al sindacato svolto dal Giudice penale in sede di processo.

Per dirla con le parole della stessa Corte: "*Quando esistono precisi limiti tabellari fissati dalla legge, non possono ritenersi < non consentite > le emissioni che abbiano, in concreto, le caratteristiche qualitative e quantitative già valutate ed ammesse dal legislatore*"<sup>18</sup>.

Diversamente, laddove non vi siano limiti tabellari di riferimento predeterminati dalla normativa di settore (ad esempio, come si vedrà *infra*, nel caso di emissioni odorigene), il Giudice penale dovrà valutare, pur sempre secondo i criteri vigenti in materia, il grado di tollerabilità del fenomeno.

E proprio in tale eventualità, viene in aiuto la definizione di "normale tollerabilità" data in ambito civilistico dall'art. 844 c.c.

Laddove infatti, le emissioni non superino i limiti di legge, ma arrechino concretamente fastidio alle persone superando la normale tollerabilità, la Cassazione ha ritenuto applicabile il principio privatistico di cui all'art. 844 c.c.<sup>19</sup>.

---

<sup>14</sup> Cass. Sez. I, 17 novembre 1993, n. 781; Cass. Sez. III, 7 aprile 1994, n. 6598; Cass. Sez. I, 6 novembre 1995, n. 11984; Cass. Sez. I, 27 gennaio 1996, n. 863; Cass. Sez. I, 11 novembre 1997, n. 3919; Cass. Sez. I, 21 gennaio 1998; Cass. Sez. III, 1 ottobre 1999, n. 11295.

<sup>15</sup> Resta isolata - almeno per ora - Cass. Sez. III, 28 settembre 2005, n. 38936, *inedita*, che, riproponendo l'orientamento superato, ha ritenuto la contravvenzione in parola integrabile indipendentemente dal superamento dei valori limite stabiliti.

<sup>16</sup> Per primo si veda Cass. Sez. I, 7 luglio 2000, n. 8094.

<sup>17</sup> Cass. Sez. I, 12 marzo 2002, n. 15717; Cass. 23 gennaio 2004, n. 9757; Cass. Sez. III, 29 settembre 2004, n. 38297;.

<sup>18</sup> Cass. Pen., Sez. III, 29 settembre 2004, n. 38297.

<sup>19</sup> Cass. Pen., Sez. I, 8 giugno 2004, n. 25660; Cass. Pen., Sez. III, 8 aprile 2004, n. 16728.

Nel caso di assenza di valori oggettivi di riferimento, dunque, la Corte di Cassazione sanziona le esalazioni moleste, generalmente originate da realtà industriali, mutuando dalla disciplina privatistica il concetto testè menzionato di "normale tollerabilità", in realtà concepito per regolare il fenomeno delle emissioni nell'ambito dei rapporti di vicinato.

Stando a quanto fin qui esposto, dunque, posto che, come si vedrà nel proseguo, in caso di emissioni odorigene, ad oggi non esistono fonti statali che forniscano valori limite di riferimento, ai fini della ravvisabilità della responsabilità ex art. 674 c.p., il Giudice penale non potrà verificare il rispetto dei limiti vigenti, in quanto si troverà piuttosto a dovere valutare il rispetto o meno del limite civilistico della "normale tollerabilità" sopra descritto<sup>20</sup>.

## 2) UNA POSSIBILE SOLUZIONE

Come abbiamo visto, dunque, per quanto concerne le emissioni odorigene, intese come miscela atta a provocare molestia olfattiva, la normativa statale italiana non prevede valori limite, né metodi o parametri idonei a misurarne la portata.

A livello regionale, tuttavia, Lombardia e Campania hanno elaborato alcune linee guida atte ad individuarne sia modalità di quantificazione sia precisi valori limite di riferimento<sup>21</sup>.

Vero è che la carenza di normativa statale in materia deriva dalla complessità tecnica, prima ancora che giuridica, della misurazione del fenomeno odorigeno. E ciò sia per quanto attiene il rilevamento che la lettura dei campioni prelevati.

Inoltre, la difficoltà nell'identificare la portata odorigena di una sostanza, spesso deriva dalla complessità della miscela delle essenze coinvolte, molte delle quali sono presenti con concentrazioni minime, e possono avere una soglia di percezione inferiore ai limiti di rilevabilità analitica. Lo scatolo, ad esempio, ha un odore caratteristico fecale, nauseante, ma ha soglia percettiva bassissima<sup>22</sup>.

Spesso, infine, a causa della presenza di numerosissimi composti, l'effetto odorigeno può essere influenzato anche da fenomeni quali sinergismo, cumulabilità, contrazione, mascheramento.

---

<sup>20</sup> Singolare la pronuncia del Giudice per le Indagini Preliminari di Treviso che in data 25 gennaio 2005, a proposito di esalazioni maleodoranti, ha disposto l'archiviazione della contravvenzione di cui all'art. 674 c.p. ritenendo che *"...il limite di tollerabilità deve essere, altresì, valutato con maggiore elasticità trattandosi di impianto ubicato in zona industriale contrassegnata dalla presenza di numerose altre attività tra le quali alcune potenzialmente causa di impatti odorigeni collegabili al loro ciclo produttivo"*.

<sup>21</sup> Per la Regione Lombardia, si veda il I Supplemento Straordinario del Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia del 13 maggio 2003; per la Regione Campania, invece, le *"Prescrizioni e controlli ambientali"*, allegato all'ordinanza n. 36 del 3/2/03 del Commissario del Governo ex O.O.P.C.M. nn. 2425/96 e successive, pubblicato sul BURC del 17/02/2003.

<sup>22</sup> Bernardo Sera, *"Il problema delle emissioni odorigene"*, in La Rivista del consulente d'azienda, anno 2, n. 2, marzo - aprile 2004.

## I. *La misurazione degli odori*

Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, gli odori possono essere quantificati con metodiche di tipo analitico e di tipo sensoriale.

Fra le prime vi sono la Gascromatografia e la Spettrometria di massa.

Si tratta di metodi che permettono il riconoscimento dei composti presenti nella miscela odorosa, con una caratterizzazione quali-quantitativa.

Sono particolarmente utili nel valutare l'efficacia dei sistemi di abbattimento, in quanto individuano i composti sui quali l'impianto ha avuto effetto, per intervenire di conseguenza.

Essi vengono utilizzati principalmente negli impianti dai quali originano emissioni dovute a pochi e specifici composti, ad elevate concentrazioni, ma al contrario, non sono efficaci nel caso di composti a bassa soglia olfattiva come mercaptani e solfuri.

I metodi di tipo sensoriale, invece, permettono di valutare l'efficacia e la forza della miscela odorosa mediante l'utilizzo del naso umano come sensore. La concentrazione viene valutata mediante la determinazione del fattore di diluizione che permette il raggiungimento della soglia di percezione, la cosiddetta unità olfattometrica.

Si ricorre a un gruppo di valutatori, opportunamente scelti – fra loro non devono esserci fumatori - ai quali vengono fatte odorare progressive diluizioni di aria deodorizzata con l'aria della quale si intende analizzare "l'odore", prelevata in corrispondenza di una "sospetta" fonte di emissione.

Il momento in cui il singolo annusatore inizia a percepire odore con una probabilità del 50%, ossia con la probabilità che l'intero gruppo di valutatori (panel di rinoanalisti) dia la stessa risposta positiva nel 50% dei casi, corrisponde al raggiungimento della soglia di percezione.

L'unità odorimetrica, quindi, indica proprio il numero di diluizioni necessarie per far raggiungere al campione la soglia di percezione dell'odore, ed è espressa in Uo/m<sup>3</sup>, ovvero in numero di diluizioni necessarie per un metro cubo di aria prelevata<sup>23</sup>.

A dire il vero, per comodità l'unità di misura dell'odore dovrebbe essere un numero puro che esprime quante diluizioni ha dovuto subire il campione per raggiungere la sua soglia di percettibilità, ma per analogia con l'unità di concentrazione, esso si esprime in Uo/m<sup>3</sup>. Così espressa, infatti tale unità di misura può essere utilizzata più facilmente per redigere rapporti sulle emissioni odorogene nel contesto di un'azione legale o essere presa in considerazione nell'ambito di strategie ambientali volte all'abbattimento delle emissioni moleste.

I metodi di misurazione testè menzionati sono stati recepiti nella nuova norma EN 13725 "Air quality – determination of odour concentration by dynamic olfactometry", che, alla

---

<sup>23</sup> Consorzio Italiano Compostatori, "Il compostaggio: novità e prospettive", Atti del corso nazionale di specializzazione, Rimini, 2000.

stregua delle norme UNI e ISO, individua criteri e valori per la misurazione delle emissioni odorigene.

Si tratta di una norma che fornisce un metodo scientifico, valido ed efficace per la valutazione degli odori, risultato di numerosi anni di ricerche e comparazioni in laboratorio.

La Commissione Europea – che ha espresso interesse nei confronti della EN 13725 – fa riferimento ad essa nel suo progetto di direttiva sui rifiuti biodegradabili; a sua volta, l'associazione nazionale tedesca degli ingegneri ha già adottato il progetto di norma con metodo di riferimento nel 1999.

Si segnala, inoltre, che sono allo studio metodi di misurazione elettronici, come per l'appunto il cosiddetto "naso elettronico" – di cui si dirà nel proseguo – che fondano il loro funzionamento sull'uso di matrici di sensori di tipo elettrochimico (polimeri, semiconduttori) in grado di rispondere alla presenza di molecole volatili modificando la propria resistenza elettrica.

Come si vedrà, detta strumentazione risulta particolarmente adatta, più che per la quantificazione degli odori, per la loro caratterizzazione e discriminazione, ed il loro uso, già comune nel campo delle industrie alimentari (controllo di qualità dei prodotti) e degli aromi, si sta via via diffondendo anche in ambito ambientale.

## *II. Gli Effetti tossici*

Va precisato infine che i composti maleodoranti di per sé non sono necessariamente associati a pericolosi effetti tossici.

I possibili effetti nocivi, infatti, sono connessi alle attività riflesse prodotte dal fastidio olfattivo a livello di disturbi gastrici, di mal di testa, di disturbo di sonno, di perdita di appetito.

E'interessante confrontare il T.L.V., Threshold Limit Value (concentrazione di composto che non produce effetti nocivi in un lavoratore ad essa esposto durante la sua vita lavorativa, 8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana per 50 settimane l'anno), con la soglia di percezione olfattiva, per notare che i due parametri non sono affatto tra loro correlati.

Sovente, infatti, le emissioni fortemente odorigene, quindi con soglia di percezione bassa, presentano bassissimi, se non inesistenti, valori di tossicità, e si limitano a causare disturbi di tipo fisico-psicologico quali per l'appunto nausea, mal di testa e inappetenza.

### 3) IL NASO ELETTRONICO

#### I. Cos'è

Per l'uomo primitivo l'olfatto era uno dei sistemi di sopravvivenza: annusava il terreno e ciò che lo circondava, per capire come orientarsi e dove dirigersi per trovare il proprio sostentamento alimentare.

Poi, con il raggiungimento della posizione eretta, la forza della capacità olfattiva umana è andata via via affievolendosi, per lasciare spazio allo sviluppo di altri sensi, quali la vista, l'udito, ecc....

L'olfatto dell'uomo moderno, dunque, è molto più debole di quello di altri mammiferi che non hanno avuto il medesimo sviluppo fisico<sup>24</sup>.

Tuttavia, nonostante sia apparentemente assopito, l'olfatto umano in molte occasioni si risveglia fungendo da campanello d'allarme, ad esempio nel riconoscere cibi avariati o pericolosi, e per distinguere i sapori: il dolce, l'amaro, l'acido, l'aspro.

Milioni di recettori si mettono all'opera, e grazie alle loro interconnessioni con fibre nervose inviano al cervello i segnali che noi poi percepiamo a livello "gustativo" come gradevoli o sgradevoli.

Il nostro naso, infatti, comunica direttamente con la mente.

Annusando odori e profumi siamo facilmente trascinati in ricordi, piacevoli o meno, del nostro passato e il meccanismo è rapidissimo: l'olfatto è direttamente connesso con le funzioni dell'ipotalamo e del sistema limbico, la zona del cervello dove risiedono le emozioni. Un odore non subisce la censura della corteccia celebrale e, prima ancora che ce rendiamo conto, ha già avuto effetti sul nostro inconscio.

Basti pensare che è proprio nel sistema limbico che vengono prodotte sostanze neurochimiche come la serotonina, l'encefalina, l'adrenalina e le endorfine, che funzionano da "risposta" agli stimoli olfattivi, con le quali calmiamo i dolori e ci rilassiamo.

Copiando il meccanismo di azione di naso, recettori, nervi e sistema celebrale alla fine degli anni ottanta sono stati progettati e realizzati dei sensori meccanici in grado di riconoscere gli odori, così aprendo la strada verso un sistema olfattivo "ricostruito" così sensibile da percepire un aroma leggerissimo e individuarne i singoli costituenti, per l'appunto, il naso elettronico.

Dall'importante scoperta del naso elettronico, risalente all'inizio degli anni ottanta, la sua applicazione industriale il passo è stato breve: per i "nasi ricostruiti" sono stati creati

---

<sup>24</sup> Agnese Ferrara, studiosa de fenomeni odorigeni presso l'università degli Studi di Pavia, dipartimento di Chimica Farmaceutica.

raffinati software in grado di archiviare e conservare un gran numero di odori percepiti e codificati dal naso elettronico, così da rendere il riconoscimento sempre più rapido e certo.

Anche la ricerca universitaria è progredita a pari velocità, tanto che attualmente studi mirati intendono approfondire le utilità pratiche del naso elettronico, ad esempio nel monitoraggio ambientale e nell'analisi degli aromi alimentari, oltre che in campo medico e chimico.

La Food and Drug Administration, l'ente americano di controllo degli alimenti e dei farmaci, utilizza già alcuni nasi elettronici per svolgere alcune analisi su cibi e bevande, ad esempio per definire con sicurezza lo stato e la freschezza.

Anche la NASA, presso il Langley Research Center, impiega i sensori elettrici in esame per scoprire ed individuare con precisione materiali sospetti, fumi pericolosi, fughe di gas.

\*\*\*

Tecnicamente, con il termine "naso elettronico" si intende uno strumento in grado di generare delle mappe digitali di odori complessi, dette anche immagini chimiche o, laddove si tratti esclusivamente di odori, immagini olfattive.

Il principio di funzionamento mira a riprodurre il sistema olfattivo umano, ed in effetti la sensibilità dei sensori che lo costituiscono è simile a quella dei recettori olfattivi dell'uomo, il sistema di elaborazione dati è concettualmente analogo al processo che accade nel bulbo olfattivo e la classificazione finale degli odori è eseguita da una rete neurale o da un tipo di analisi statistica multivariata che riprende i meccanismi di identificazione utilizzati dal cervello.

Presso i laboratori dell'Istituto per la Microelettronica e -microsistemi del C.N.R., sezioni di Roma, Lecce e Bologna, da alcuni anni si stanno studiando e sviluppando differenti prototipi di sistemi olfattivi artificiali<sup>25</sup>.

Gli elementi fondamentali sono i sensori chimici che rispondono in maniera reversibile alle sostanze chimiche volatili generando segnali elettrici in funzione della concentrazione dei gas, in tempo reale.

Il principio di funzionamento dei sensori chimici piezoelettrici, definiti sensori di massa, posizionati nella "narice" del naso elettronico di Roma si basa sulla variazione di frequenza di oscillazioni di cristalli di quarzo dovuta alla variazione di massa legata all'assorbimento o desorbimento delle molecole gassose sullo strato sensibile del sensore.

Nel caso degli altri due prototipi (a Lecce e Bologna) l'interazione chimica determina un trasferimento di elettroni tra la superficie di un materiale semiconduttore e le molecole di gas assorbite, che viene misurata come una variazione di conducibilità dei materiali impiegati. In particolare questa variazione è determinata dall'ossidazione superficiale delle sostanze che

---

<sup>25</sup> CNR, Quaderni dell'istituto per la microelettronica e microsistemi, 2003.

compongono l'aroma e dalla riduzione dell'ossigeno precedentemente assorbito ed attivato sulla superficie del sensore stesso.

Le caratteristiche comuni ai tre i prototipi sono l'immediatezza della risposta e l'assenza di lunghi pretrattamenti del campione da analizzare.

Le attività dei gruppi nelle suddette sezioni del CNR sono volte, in modalità diversificate, alla miniaturizzazione del sistema (tramite l'applicazione di microtecnologie), allo sviluppo dell'elettronica e dei software di gestione, ma anche alla chimica del sensore, preparando e caratterizzando nuovi materiali, mirando ad aumentarne la risoluzione nei confronti degli analiti desiderati, a diminuire il tempo di risposta e a ottenere una completa reversibilità, accuratezza e riproducibilità delle misure.

Simili strumenti trovano ampio spazio applicativo ad esempio nel settore alimentare, dove essi possono essere utilizzati per formulare un giudizio oggettivo di qualità (es. valutazione dello stato di conservazione degli alimenti, controllo delle denominazioni di origine protetta, controllo di frodi o sofisticazioni); nel monitoraggio ambientale dove contribuiscono ad identificare gas di combustione, fughe di gas, idrocarburi aromatici, aerosol; in campo medico infine essi possono rappresentare strumenti diagnostici per malattie della pelle, del sistema endocrino e per patologie più importanti tipo diabete, cancro ai polmoni, schizofrenie, psicopatie.

## *II. Il metodo d'indagine*

Predisporre un'indagine olfattometrica significa accertare l'esistenza di una molestia olfattiva, individuarne l'origine, quantificarla in modo oggettivo mediante metodi ufficiali, identificarne le componenti mediante caratterizzazione, ed infine, proporre mirate soluzioni di abbattimento.<sup>26</sup>

Come anticipato, per valutare in via oggettiva una grandezza per definizione soggettiva come la molestia olfattiva, la tecnica ricorre alla cosiddetta unità olfattometrica, indicante il numero di diluizioni necessarie per raggiungere la soglia di percezione.

L'indagine olfattometrica rappresenta un metodo investigativo in grado di standardizzare la carica odorigena di un'emissione in atmosfera, recepito a livello europeo dal Comitato Tecnico 264 sulla Qualità dell'Aria che l'ha inserito nella EN 13725.

In particolare, detta norma definisce le modalità di selezione del panel di rinoanalisti, che devono essere scelti sulla base della loro sensibilità ad una sostanza di riferimento (l'n-butano, inteso come riferimento europeo per misurare la concentrazione di odore); le modalità di prelievo dei campioni dell'aria da analizzare, che devono essere prelevati in

---

<sup>26</sup> Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Chimica Farmaceutica, Facoltà di Farmacia, manuale operativo.

contenitori che non rilascino né assorbano le sostanze odorigene, e, per escludere fenomeni di alterazione del contenuto, devono essere analizzati entro il termine massimo di trenta ore dal prelievo.

L'identificazione e la caratterizzazione delle sostanze responsabili della molestia olfattiva, prevedono l'analisi chimica dei campioni di aria prelevati, ed in particolare la determinazione qualitativa delle sostanze organiche volatili (SOV) presenti, mediante intrappolamento e preconcentrazione dell'aria ed analisi per gascromatografia - spettrometria di massa.

A ciò segue la determinazione quantitativa delle SOV rinvenute, con particolare riguardo a quelle presenti in concentrazione più elevata e a quelle dotate di soglia di percezione olfattiva più bassa.

Spesso, tuttavia, per meglio quantificare il fastidio arrecato, è richiesta una valutazione in continuo dell'emissione in esame, e proprio in tali circostanze, per riconoscere "l'impronta elettronica" dell'odore percepito, si fa ricorso all'analizzatore automatico a sensori, il cosiddetto "naso elettronico", in grado di monitorare in continuo l'aria nei punti soggetti ad inquinamento da odori, lontani dalla fonte inquinante.

I risultati forniti dal naso elettronico, opportunamente integrati con informazioni climatiche e meteorologiche, rappresentano una misura oggettiva dell'inquinamento olfattivo, che deve però essere collegato all'intensità dell'odore percepito ad alla identificazione delle sostanze responsabili.

Perché i dati raccolti siano quanto più oggettivamente rappresentativi, è necessario seguire precise cautele.

E', infatti, necessario procedere preliminarmente al cosiddetto "addestramento" del naso elettronico, mediante la raccolta delle "arie" che si intendono analizzare emesse dalle diverse sorgenti odorigene presenti nel territorio, le quali vengono successivamente sottoposte sia ad analisi olfattometrica (panel di annusatori) che ad analisi elettronica (naso elettronico).

L'esito dell'elaborazione statistica chemiometrica sarà la creazione della cosiddetta "mappa degli odori" raffigurante le intensità delle sostanze odorigene rilevate.

A questo punto si può posizionare il naso elettronico nel punto ritenuto più adatto ed avviare il monitoraggio delle immissioni per un periodo di tempo adeguato.

Al termine della campagna, che può durare diversi giorni, i risultati elaborati forniscono il grafico dell'intensità della molestia olfattiva percepita nel punto prescelto, correlato alle cause dell'odore stesso.

In questo modo è possibile distinguere l'inquinamento olfattivo prodotto dalle diverse emissioni coinvolte, ed assegnare in via oggettiva, il grado di molestia delle singole fonti di cui è stata rilevata la presenza.

### *III. Le tecniche analitiche e i metodi impiegati*

E' consigliabile di effettuare il prelievo dei campioni di aria mediante pompa a depressione (effetto polmone), in contenitori di Nalophan da otto litri.

Il Nalophan è un materiale in grado di garantire la conservazione dei campioni di aria per almeno trenta ore senza alterarne l'odore.

I campioni di aria vengono analizzati presso apposito laboratorio di analisi, dove avviene la valutazione olfattometrica mediante olfattometro e con il panel di rinoanalisti, selezionati secondo la norma EN 13725.

Il naso elettronico opera con dei sensori ad ossidi metallici in una cella da 1,8 ml mantenuti ad alta temperatura; si tratta di sensori a semiconduttore che si basano su campi di conducibilità indotti da reazioni superficiali dovute all'assorbimento del gas da analizzare.

In sede di reazione si ha uno scambio di ossigeno tra le molecole volatili ed il film metallico, che provoca un cambio di resistenza che viene registrato e correlato alla quantità di composti assorbiti.

Il campione odorigeno aspirato mediante una pompa viene immesso all'interno della cella di misura. La fase di aspirazione del campione è alternata da fasi di lavaggio con aria di bombola o filtrata su carbone attivo in modo tale da pulire i sensori e fornire lo "zero".

Si tratta di una tecnica innovativa che richiede un trattamento matematico dei risultati, mediante l'uso di metodi statistici chemiometrici avanzati.

Il modello matematico utilizzato è in grado di stimare un'unica matrice pesata e calcola una funzione discriminante lineare che separa gli oggetti per ottenere la massima discriminazione possibile tra i centri delle diverse classi e la minima tra gli oggetti appartenenti alla stessa classe.

Si tratta di un'analisi che permette di visualizzare in forma grafica i dati elaborati, fornendo un grafico rappresentativo, raffigurante in uno spazio a due dimensioni le due funzioni discriminanti.