

UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

**Dottorato di Ricerca in
Ambiente Salute e Processi Ecosostenibili
XXIV Ciclo**

**Controllo Ambientale.
Campagne di Monitoraggio
Atmosferico**

Dottorando

Mario GENSINI

Supervisori

**Prof. Nicola PIRRONE
Dott.ssa Francesca SPROVIERI**

Coordinatore

Prof. Bruno De Cindio

Sommario

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE AL MONITORAGGIO ATMOSFERICO4

Prologo.....	4
1.1 L'inquinamento atmosferico come problema globale	7
1.2 Network di monitoraggio.....	10

CAPITOLO 2

LA NORMATIVA AMBIENTALE15

2.1 La politica ambientale europea.....	15
2.2 Analisi della normativa di riferimento europea per il controllo dell'inquinamento atmosferico	22
2.3 Analisi della normativa di riferimento nazionale per il controllo dell'inquinamento atmosferico	25
2.3.1 Analisi del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155	25
2.3 Trasmissione e raccolta dati di monitoraggio	38
2.4 Limiti Normativi.....	40
2.5 Limiti e vincoli della strumentazione e degli operatori.....	42
2.6 La calibrazione.....	43

CAPITOLO 3

INQUINANTI ATMOSFERICI44

3.1 Ossido di zolfo.....	45
3.2 Ossidi di azoto	47
3.3 Monossido di carbonio	50
3.4 Ozono.....	52
3.5 Particolato	54
3.6 Benzene.....	56
3.7 Idrocarburi Policiclici Aromatici	58
3.8 Metalli Pesanti	61
3.9 Piombo	62
3.10 Arsenico	63
3.11 Cadmio.....	65

3.12 Nichel.....	66
3.13 Mercurio.....	68

CAPITOLO 4

METODOLOGIE PER IL MONITORAGGIO ATMOSFERICO..... 71

4.1 Tecnologie di riferimento certificate per il campionamento ed il monitoraggio degli inquinanti atmosferici in situ	71
4.2 Metodologie e strumentazioni per la misura dell'ossido di zolfo	72
4.3 Metodologie e strumentazione per la misura degli ossidi di azoto	73
4.4 Metodologie e strumentazione per la misura dell'ossido di carbonio	75
4.5 Metodologie e strumentazione per la misura dell'ozono	76
4.6 Metodologie e strumentazione per la misura del benzene	77
4.7 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM10.....	79
4.8 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM _{2,5}	81
4.9 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del piombo (Pb), cadmio (Cd), arsenico (As) e nichel (Ni)	82
4.10 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del benzo(a)pirene nell'aria ambiente	83
4.11 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del mercurio nell'aria ambiente.....	84
4.12 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione dei tassi di deposizione di arsenico, cadmio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici	86
4.13 Determinazione di Arsenico, Cadmio e Nichel nelle Deposizioni Atmosferiche Totali	87
4.14 Determinazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici nelle Deposizioni Atmosferiche Totali	89
4.15 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione dei tassi di deposizione del mercurio.....	91
4.16 Analisi delle infrastrutture software	94

CAPITOLO 5

LA GESTIONE DEI DATI AMBIENTALI E L'INFORMAZIONE GEOGRAFICA

<u>.....</u>	98
5.1 La Direttiva Europea INSPIRE	101
5.2 Gli standard utilizzati.....	102
5.3 La qualità del dato	107

CAPITOLO 6

UN CASO REALE: IL PROGETTO GMOS.....

6.1 Breve panoramica sulle attività del progetto GMOS	112
6.2 Attività del Dottorando all'interno del progetto GMOS	118

CONCLUSIONI.....

PRODUZIONE SCIENTIFICA

BIBLIOGRAFIA.....

Capitolo 1

Introduzione al monitoraggio atmosferico

Prologo

I cambiamenti climatici, la salute ambientale, i rifiuti sono problematiche di interesse globale e, oggi, all'ordine del giorno. Tuttavia, non è stato sempre così. I recenti problemi ambientali hanno avuto la conseguenza di acuire la sensibilità del grande pubblico ed è oramai patrimonio comune che la salubrità dell'ambiente circostante è direttamente collegata alla qualità della vita.

La tecnica e la ricerca scientifica hanno, inoltre, compiuto notevoli passi in avanti nel permettere il riconoscimento dei fattori di rischio ambientali, nel migliorare e semplificare le tecniche di monitoraggio, nel rendere disponibili in tempo quasi-reale i dati ambientali al grande pubblico.

I monitoraggi ambientali possono riguardare aspetti molteplici della complessità ambientale, dalla misurazione del rumore, alla radioattività naturale, all'inquinamento luminoso e termico, alle diverse matrici ambientali (aria, acqua, suoli).

Nel corso del presente lavoro di Dottorato si è scelto di porre l'attenzione sul monitoraggio di inquinanti atmosferici, ovvero quelle sostanze, prodotte sia naturalmente che tramite l'azione dell'uomo, che vanno in qualche modo a variare la composizione dell'atmosfera. Per atmosfera, intendiamo la miscela di sostanze, per lo più allo stato di gas e vapore, che avvolge la Terra.

L'atmosfera può essere suddivisa in una serie di strati sovrapposti sulla base dei fenomeni caratteristici di ciascuno strato.

La fascia più vicina alla Terra è la troposfera che si estende dal suolo fino a 10-15 chilometri. È lo strato in cui si verificano quasi tutti i fenomeni meteorologici e che contiene l'80 per cento della massa dei

gas atmosferici ed il 99 per cento del vapore acqueo contenuto nell'atmosfera.

La temperatura e la pressione atmosferica decrescono con l'altitudine: oltre i 7.000-8.000 metri di quota, la pressione è tanto bassa che non è più possibile respirare senza l'uso di maschere collegate a bombole di ossigeno. La troposfera è il luogo della vita: tutte le piante, gli animali e gli esseri umani vivono in essa. Gli animali e gli umani utilizzando l'ossigeno per respirare, le piante utilizzando anche il biossido di carbonio per produrre, con l'ausilio dell'energia solare e dell'acqua, le sostanze organiche (fotosintesi clorofilliana).

Come già detto, l'*aria atmosferica* che respiriamo è una miscela di elementi gassosi ed allo stato di vapore la cui composizione standard è riportata in tabella

Gas	Concentrazione (ppm)
Azoto	780900
Ossigeno	209400
Argo	9300
Anidride carbonica	315
Neon	18
Elio	5,2
Metano	1,0-1,2
Cripto	1
Ossido di azoto	0,5
Idrogeno	0,5
Xeno	0,08
Biossido di azoto	0,02
Ozono	0,01-0,04

Tabella 1.1: Concentrazioni dei gas che compongono la normale aria secca.

Ossigeno e azoto sono i principali gas contenuti nell'aria atmosferica e costituiscono il 99% della miscela in volume; $O_2 = 20,94\%$ e $N_2 = 78,09\%$. Con l'argo (0,93%) e il biossido di carbonio (0,03%) si raggiunge il 99,99% in volume della miscela. Associato a questi gas, è presente il vapore d'acqua la cui quantità può variare dall'1 al 3% in volume. Nell'aria è inoltre presente anche il pulviscolo atmosferico costituito da materiale solido o liquido di varia composizione, finemente disperso, in sospensione nell'atmosfera. La quantità e la

composizione del pulviscolo atmosferico può variare enormemente per una molteplicità di eventi sia naturali che artificiali.

E' importante ricordare che le condizioni meteorologiche presentano una grossa importanza sulla qualità dell'aria, inoltre, l'orografia del territorio può enfatizzare alcuni fenomeni di inquinamento limitando lo scambio di aria con zone limitrofe. Altra condizione critica riguarda le cosiddette inversioni di temperatura, ovvero quelle particolari situazioni per cui la temperatura dell'aria aumenta all'aumentare della quota anziché diminuire. Si viene a creare, pertanto, una situazione di aria particolarmente stabile che impedisce all'aria prossima al terreno di rimescolarsi non permettendo la diluizione degli inquinanti.

Tutto ciò che interviene a modificare la composizione ordinaria dell'atmosfera è definito ***inquinamento atmosferico***.

L'art. 2 del DPR 203/88, oggi abrogato e sostituito dal nuovo T.U. ambientale (D.lgs. 3 aprile 2006, n. 152) definisce inquinamento “...*ogni modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria*”.

L'art. 2 del D.Lgs. 59/2005 definisce l'inquinamento atmosferico come “...*l'introduzione diretta o indiretta, a seguito di attività umana, di sostanze, vibrazioni, calore o rumore nell'aria o nel suolo, che potrebbe nuocere alla salute umana o alla qualità dell'ambiente, causare il deterioramento di beni materiali, oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell'ambiente o ad altri suoi legittimi usi.*”

L'inquinamento atmosferico può avere due cause: inquinamento naturale e inquinamento antropico. Il primo determinato da fenomeni naturali quali, ad esempio l'attività vulcanica, le variazioni meteorologiche, le catastrofi naturali, i processi biologici e fermentativi, gli incendi per autocombustione, etc. Tali fenomeni

provocano immissione nell'atmosfera di fumi, ceneri e gas di vario genere. Quello che però interessa, in termini realistici, è il fenomeno dell'inquinamento atmosferico antropogenico, cioè inerente all'attività umana.

Le attività umane si possono classificare in “attività di tipo industriale” ed “attività di tipo urbano”. In entrambi i casi si intende un insieme di processi di trasformazioni fisiche, chimiche e biologiche in cui risorse e materie prime vengono trasformate in prodotti e materiali di scarto.

1.1 L'inquinamento atmosferico come problema globale

La problematica dell'inquinamento transfrontaliero ha cominciato ad assumere peso fin dagli anni 60 quando per la prima volta si collegano i danni provocati dal fenomeno dell'acidificazione, riscontrati in alcuni laghi scandinavi, con le emissioni di ossidi di zolfo provenienti dal continente europeo.

Paradossalmente la principale causa di tutto ciò è stato il tentativo di porre rimedio all'inquinamento dell'aria, in particolare da biossido di zolfo (che nei decenni passati in Europa e negli USA era il principale inquinante dell'aria), nelle immediate vicinanze dei punti di emissione. Per ridurre le alte concentrazioni di inquinanti nell'aria prodotti nelle vicinanze degli impianti industriali e di produzione dell'energia (centrali termoelettriche a carbone e a olio combustibile), si pensò di disperdere gli inquinanti emessi su un'area più vasta utilizzando la tecnica degli *alti camini*: ciminiere alte fino a 200 metri e più consentivano ai fumi di disperdersi ad alta quota, per cui le concentrazioni al suolo nelle immediate vicinanze del punto di emissione erano in genere, grazie a questo accorgimento, molto basse. Inoltre, se i fumi erano emessi ad alta temperatura, si innalzavano ancora di più in atmosfera per cui gli effetti non si riflettevano nelle vicinanze: i “pennacchi” viaggiavano anche per centinaia di km prima di raggiungere gli strati di aria prossimi al suolo.

Purtroppo con la tecnica degli alti camini il problema non è stato risolto, ma solo *spostato*: da locale è diventato addirittura transfrontaliero, causando problemi di acidificazione ed

eutrofizzazione.

L'estensione spaziale dei fenomeni ha reso indispensabile la cooperazione internazionale al fine di affrontare efficacemente il problema, e tale cooperazione prende le mosse nel 1972, anno della prima conferenza mondiale sull'ambiente organizzata dall'ONU. La Svezia presenta un rapporto sull'acidificazione nel quale viene posto l'accento sulla natura transfrontaliera del problema. Inizialmente pochi Paesi sono propensi ad ammettere che le loro emissioni in atmosfera causano danni in altri Paesi, per quanto nel corso degli anni '70 il problema diviene sempre più di pubblico dominio sia in Europa che in America del Nord.

Nel 1977 viene pubblicato un rapporto OCSE, su uno studio iniziato nel 1972, dove si conferma la natura transfrontaliera dell'inquinamento da composti dello zolfo. Lo studio OCSE evolve nel Programma cooperativo per il monitoraggio e la valutazione dell'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza in Europa (EMEP).

A novembre del 1979, oltre 30 Paesi esterni alla Comunità Europea siglano a Ginevra la Convenzione sull'Inquinamento Atmosferico Transfrontaliero a Lunga Distanza (LRTAP).

Nel 1981 un'analisi costi-benefici dell'OCSE mostra che il guadagno economico a seguito di un dimezzamento delle emissioni in atmosfera dei composti di zolfo in Europa Occidentale, sarebbe pari a sei volte i costi da sostenere per questa riduzione. Nel 1982 alla Conferenza di Stoccolma sull'acidificazione, si parla di un limite alle deposizioni acide per evitare danni alle acque superficiali nelle aree più sensibili. La Germania Ovest, fino ad allora contraria a qualsiasi azione internazionale, sorprendentemente, sostiene la necessità che tutti i Paesi riducano alla fonte le emissioni in atmosfera, e così l'anno successivo (1983) la Convenzione di Ginevra del 1979, ratificata da 24 paesi, entra in vigore e alla prima riunione dell'Organo Esecutivo della Convenzione i Paesi scandinavi propongono che tutti i Paesi riducano le loro emissioni di ossidi di zolfo di almeno il 30% entro il 1993. Lo stesso anno la Commissione europea propone una direttiva per ridurre le emissioni di ossidi di zolfo, ossidi di azoto e polveri dai grandi

impianti di combustione, direttiva che verrà adottata nel 1988 dopo cinque anni di negoziazione.

Nel 1984 un gruppo di 18 Paesi, con riferimento alla Convenzione di Ginevra del 1979, decide di ridurre del 30% le emissioni di ossidi di zolfo, e nel 1985, 21 Paesi firmano un protocollo che li obbliga a ridurre le emissioni di ossidi di zolfo di almeno il 30% entro il 1993: è il primo di una serie di protocolli attuativi della Convenzione di Ginevra che hanno come obiettivo la riduzione delle emissioni e dei flussi transfrontalieri di inquinanti da parte dei Paesi che vi aderiscono.

I protocolli successivi, nel periodo che va dalla seconda metà degli anni '80 fino a tutti gli anni '90, si propongono di affrontare altri problemi transfrontalieri che nel frattempo erano venuti alla ribalta: lo smog fotochimico, i metalli pesanti e gli inquinanti organici persistenti.

Sul finire degli anni ottanta, le Nazioni Unite, affidano ad una commissione di esperti, la Commissione Brundtland, presieduta da Gro Harlem Brundtland, primo ministro della Norvegia, l'elaborazione di un rapporto, denominato "***Il nostro Futuro comune***" (Our Common Future) che recepisce il concetto di sviluppo sostenibile. Nel rapporto è data un'importante definizione di sviluppo sostenibile: "*lo sviluppo è sostenibile se soddisfa i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere le possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri bisogni*", ovvero, il rapporto intende conseguire questo obiettivo attraverso una congrua integrazione delle politiche economiche con quelle ambientali.

Da tale definizione emergono due concetti fondamentali:

- quello dei bisogni, inteso come la totalità delle esigenze della generazione presente in contrasto con quelle delle generazioni future;
- quello dei limiti, posti allo sfruttamento sfrenato delle risorse ambientali.

In sostanza, sono quattro gli elementi fondamentali che costituiscono lo sviluppo sostenibile:

- il principio dell'uso equo e sostenibile delle risorse naturali: rappresentato dall'uso razionale e prudente delle stesse;
- il principio dell'equità intergenerazionale: inteso come norma programmatica che impone agli Stati di considerare, nell'applicazione delle proprie politiche, le esigenze ed i bisogni non solo della generazione presente, ma anche di quella futura. Ciò significa porre un limite ad un uso indiscriminato ed eccessivo delle risorse naturali in modo da evitare un inevitabile depauperamento delle stesse ai fini del loro godimento per le generazioni future;
- il principio di equità intragenerazionale: ogni Stato nell'applicazione delle proprie politiche di sviluppo deve rispondere non solo alle esigenze del suo popolo, ma anche a quelle degli altri Paesi. In pratica, emerge la necessità da parte di tutti gli Stati di cooperare per il raggiungimento di un medesimo obiettivo comune;
- il concetto di integrazione tra politiche dello sviluppo e quelle della tutela ambientale: si tratta di affrontare i problemi relativi all'ambiente attraverso l'adozione di un approccio globale ed equilibrato, integrando le esigenze economiche di sviluppo e quelle ambientali.

Lo sviluppo sostenibile, inteso come modello idoneo a coniugare aspetti ambientali, sociali ed economici, costituisce la base programmatica di numerose conferenze internazionali su temi ambientali.

1.2 Network di monitoraggio

L'inquinamento atmosferico, come detto, presenta caratteristiche di globalità e la variazione dei parametri varia fortemente sia nel tempo, con variazioni orarie e giornaliere, che nello spazio, con profonde variazioni indotte dalle condizioni micro-climatiche e dall'orografia del territorio.

Il dato acquisito in un punto ed in un dato periodo non può essere rappresentativo di una vasta area di territorio; diventa necessario

effettuare un monitoraggio continuo, quando possibile, e che sia in grado di descrivere in maniera puntiforme l'intero territorio in maniera tale da poter elaborare i dati monitorati, effettuare una geospazializzazione degli stessi in maniera da poter realizzare una mappa, analizzare le serie storiche e, quando possibile, sviluppare modelli di previsione della Qualità dell'Aria.

Risulta evidente come la singola campagna di monitoraggio sia di assoluto interesse nel caso si debba effettuare una Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) per valutare la Qualità dell'Aria in una singola zona ma sia di relativo interesse nel caso in cui si vogliano comprendere i fenomeni di trasporto e di trasformazione degli inquinanti, a meno che non sia inquadrata in un contesto più ampio ed in un network in grado di garantire parametri minimi che possano servire alla comprensione dell'inquinamento atmosferico.

Risulta sempre più necessario integrare le competenze scientifiche e tecnologiche, a quelle di pianificazione e gestione ambientale. Rispetto allo scorso decennio, i temi della qualità dell'aria e dei cambiamenti climatici non possono più essere considerati come mero esercizio di raccolta di concentrazioni di componenti atmosferici e parametri meteorologici o come opportunità per dispiegare strumenti di misura, senza poi estendere la conoscenza puntuale del fenomeno ad un ambito territoriale più vasto, per correlarlo alle cause che lo hanno determinato, per indagarne gli effetti su diverse scale e per valutarne l'impatto sui vari settori socio-economici che caratterizzano il territorio.

La consapevolezza di una mutata prospettiva sta emergendo anche nella normativa nazionale che punta ad un approccio integrato del sistema "conoscenze/azioni conseguenti" basato da un lato su un monitoraggio efficiente e strumenti di comprensione del dato sperimentale, e dall'altro sulla definizione di modelli interpretativi dei fenomeni, analisi degli scenari e analisi costi-benefici, per pervenire alla messa a punto di strumenti di supporto alle decisioni nell'ambito della politica ambientale e di salvaguardia della salute pubblica.

Come messo in evidenza dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA)

nel Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Europa 2010, *“l'accesso a informazioni aggiornate affidabili sull'ambiente offre una base per costruire azioni tali da sostenere lo sviluppo sostenibile e contribuire a realizzare miglioramenti apprezzabili e misurabili nell'ambiente dell'Europa”*.

Al fine di avere dati rappresentativi e disponibili, anche in tempo reale, è necessaria la messa in rete dei siti di osservazione, prevedere il loro potenziamento e un'estensione delle osservazioni attuali alle aree particolarmente vulnerabili, dove attualmente mancano informazioni. In questo modo, il sistema osservativo può servire da supporto anche nel caso di emergenze ambientali, come quella determinata dall'eruzione del vulcano Eyjafjallajökull sul traffico aereo internazionale nel 2010. La gestione di questa ed altre emergenze, non solo nazionali, dovute ad eventi calamitosi (eruzioni vulcaniche, incendi, trasporti di sabbia sahariana, rilasci accidentali di inquinanti, eventi estremi meteo-marini) traggono sicuramente beneficio da una rete osservativa integrata.

Il cambiamento climatico globale e le sue conseguenze su scala regionale hanno un effetto significativo non solo sull'ambiente e la salute in generale, ma anche sul mondo produttivo. Ad esempio, in figura 2.1 si riporta l'incremento delle perdite economiche su scala globale dovute al verificarsi di fenomeni meteorologici estremi, come evidenziato nel rapporto UNEP *“Advancing adaptation through climate information services”* del 2011. In tale rapporto si evidenzia, inoltre, che la conoscenza accurata delle caratteristiche climatiche di una regione rappresenterà uno dei più importanti fattori di competitività negli anni futuri. In particolare, le principali richieste di informazioni che il mondo finanziario ed economico rivolge alla comunità scientifica esperta del campo climatico-ambientale riguardano: (i) occorrenza di eventi meteorologici estremi; (ii) impatti dei cambiamenti climatici sul settore agricolo, forestale, idrico, etc.; (iii) strategie di adattamento e mitigazione.

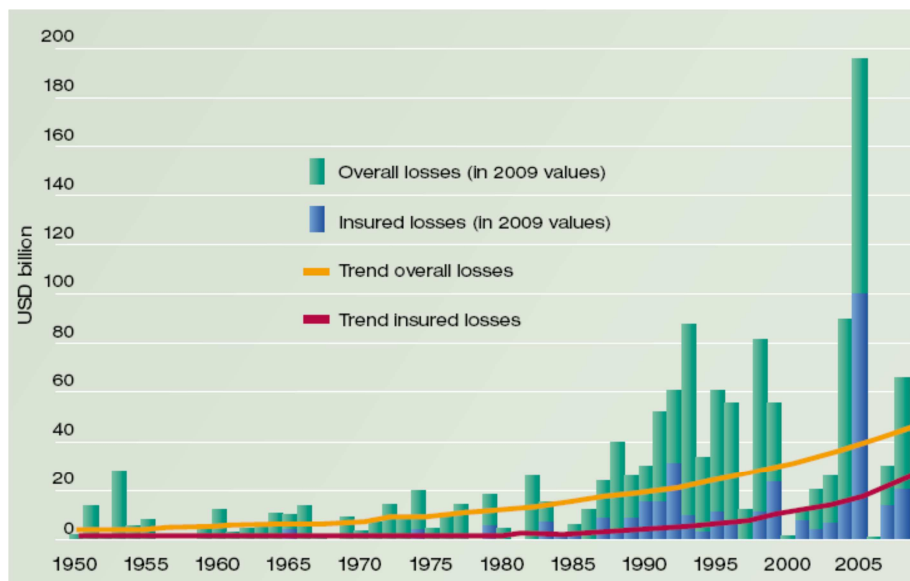


Figura 1.1: Trend e valori annuali delle perdite economiche mondiali (totali-verde ed assicurate-blu) legate ad eventi meteorologici estremi (da UNEP, “Advancing adaptation through climate information services”, 2011 su dati Munich Reinsurance).

La scelta e la progettazione di un network di monitoraggio è una fase molto delicata e sono di particolare importanza i protocolli minimi a cui una stazione di monitoraggio deve adeguarsi per poter entrare nel network.

Un esempio di network di monitoraggio per la valutazione dell'inquinamento a lungo raggio è dato dal progetto EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*) che si prefigge tre obiettivi: (i) la creazione di una banca dati delle emissioni; (ii) un programma di misura della qualità dell'aria; (iii) la creazione di modelli per il trasporto e la diffusione degli inquinanti.

Le stazioni italiane aderenti all'EMEP sono

Denominazione Stazione	Coordinate	Altitudine s.l.m.
IT0001R Montelibretti	42 6 0 N 12 38 0 E	48
IT0002R Stelvio	46 21 0 N 10 23 0 E	1.415
IT0003R Vallombrosa	43 44 0 N 11 33 0 E	1.000
IT0004R Ispra	45 48 0 N 8 38 0 E	209
IT0005R Arabba	46 31 0 N 11 53 0 E	2.030

IT0008R ISAC Bologna	44 29 0 N 11 20 0 E	0
IT0009R Mt Cimone	44 11 0 N 10 42 0 E	2.165

Tabella 1.2: Stazioni EMEP in Italia (fonte: EMEP website
<http://www.nilu.no/projects/ccc/network/index.html>)

Altro network di monitoraggio è il progetto GAW (*Global Atmospheric Watch*) che è un programma del WMO (*World Meteorological Organization*), un'agenzia specializzata delle Nazioni Unite che rappresenta la voce autorevole dell'ONU sullo stato e sul comportamento dell'atmosfera, sulle sue interazioni con gli oceani, sulla distribuzione delle risorse idriche.

Altri network specializzati sono in fase di sviluppo e creazione. Tra questi il progetto GMOS (Global Mercury Observation System), finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro e coordinato dal CNR – Istituto sull'Inquinamento Atmosferico (CNR – IIA), che verrà esaminato dettagliatamente nei capitoli successivi.

Capitolo 2

La normativa ambientale

2.1 La politica ambientale europea

La politica ambientale è una novità piuttosto recente all'interno dell'Unione Europea.

Originariamente, i Trattati istitutivi delle Comunità europee non prevedevano alcuna forma normativa per la tutela ambientale.

Concetti come “ambiente”, o “tutela ambientale” erano assenti nel Trattato originario del 1957 (Trattato di Roma). In quella fase, infatti, le parti contraenti non ritennero necessaria una politica ambientale comune e così i Paesi europei non si posero il problema delle conseguenze ecologiche della loro industrializzazione.

Sin dagli anni '60 l'esigenza di tutelare l'ambiente ha suscitato varie iniziative comunitarie. Nonostante ciò il mercato interno dell'Unione europea avrebbe privilegiato solo gli aspetti economici e gli scambi commerciali relegando, in secondo piano, la difesa dell'ambiente vista come un ostacolo potenziale agli scambi, piuttosto che come un obiettivo da realizzare.

Negli anni '70 le preoccupazioni per l'ambiente acquistano risonanza nella Comunità e suscitano le prime iniziative in campo ambientale.

Nella prima comunicazione sulla politica ambientale del luglio 1971, la Commissione europea delinea gli indirizzi dell'intervento comunitario a tutela dell'ambiente e traccia le linee programmatiche dell'azione comune.

Nel Memorandum trasmesso al Parlamento europeo e al Consiglio, la Commissione sottolinea l'esigenza di tener conto della qualità delle risorse naturali e delle condizioni di vita, nella stessa definizione ed

organizzazione dello sviluppo economico della Comunità. I Capi di Stato e di Governo della Comunità europea, riuniti a Parigi nel Vertice del 19 e 20 ottobre del 1972, preso atto del memorandum predisposto dalla Commissione, affrontarono la questione ambientale nella sua reale dimensione. In quell'occasione, oltre ad affermare l'impegno della Comunità per la promozione d'iniziative comuni tutela dell'ambiente, il Vertice comunitario invitava la Commissione ed il Consiglio a definire e ad approvare un programma d'azione in materia di ambiente, nella convinzione che la crescita economica e lo sviluppo delle politiche comuni dovessero tradursi in un miglioramento delle condizioni di vita dei popoli europei.

In occasione della prima riforma globale dei trattati istitutivi, avvenuta nel 1987 con l'Atto Unico Europeo, fu inserito nel Trattato Comunitario un vero e proprio titolo dedicato all'ambiente (Titolo VII), costituito da tre articoli: 130R, 130S e 130T in cui venivano per la prima volta definiti gli obiettivi, i principi e gli strumenti per la politica comunitaria in questo settore. Con l'art. 130R, si prevede, altresì, per la prima volta, relativamente a ciascuna politica comunitaria, l'applicazione del principio di sussidiarietà secondo il quale le decisioni in campo ambientale devono essere prese al livello di governo più vicino possibile ai cittadini.

Con il Trattato sull'Unione Europea del '92 (Trattato di Maastricht), il concetto di sviluppo sostenibile viene inserito nella legislazione dell'Unione Europea, nel quadro dell'articolo 130 R, paragrafo 2, il quale stabilisce che "le esigenze connesse con la tutela dell'ambiente devono essere integrate nella definizione e nell'attuazione delle altre politiche comunitarie". Tale Trattato conferma l'applicazione del principio di sussidiarietà alla materia ambientale. Infatti, l'art. 3B, sebbene non dettato espressamente in materia ambientale, chiarisce che al livello superiore sono attribuiti solo i compiti che al livello inferiore non possono essere adempiuti.

Le competenze europee in campo ambientale sono ulteriormente

ampliate con il Trattato di Amsterdam del 1997, firmato il 2 ottobre 1997 ed entrato in vigore il 1 maggio 1999. Il trattato ha dato una nuova numerazione a tutto il Trattato CE ed al trattato sull'Unione Europea. Gli articoli da 130r a 130t sono ora inseriti nel Titolo XIX e sono diventati gli articoli 174, 175 e 176 del Trattato CE. Con la firma del trattato di Amsterdam la tutela ambientale ha assunto una valenza trasversale nell'ambito delle politiche comunitarie. Secondo quanto previsto dall'articolo 6, infatti, tutte le politiche devono tener conto delle esigenze connesse alla salvaguardia dell'ambiente, soprattutto nella prospettiva di promuovere lo sviluppo sostenibile, ovvero uno sviluppo economico che consenta di non alterare il delicato equilibrio ambientale. In questa maniera la tutela ambientale, oltre a costituire un obiettivo specifico dell'Unione, viene ad essere integrata nella definizione e nell'attuazione di tutte le politiche comunitarie.

Gli scopi cui mirano le azioni della Comunità nel settore dell'ambiente, sono definiti all'art. 174 TCE che indica:

- la salvaguardia, la tutela e il miglioramento della qualità dell'ambiente;
- la protezione della salute umana;
- l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali;
- la promozione sul piano internazionale di misure destinate a risolvere i problemi dell'ambiente a livello regionale o mondiale.

Con il Trattato di Lisbona, entrato in vigore il 1° dicembre 2009, si conferma quanto conseguito dall'Unione Europea nel campo ambientale e del cambiamento climatico. Infatti, il Trattato afferma che uno degli obiettivi dell'Unione è operare per uno sviluppo sostenibile dell'Europa sulla base, in particolare, di un elevato livello di tutela e del miglioramento della qualità dell'ambiente. Sebbene il concetto dello sviluppo sostenibile figuri anche negli attuali trattati, il trattato di Lisbona la rafforza e ne precisa la portata. Con esso, la lotta a livello internazionale contro i cambiamenti climatici diventa un obiettivo

specifico della politica ambientale dell'UE. Il nuovo trattato aggiunge, infatti, all'elenco degli obiettivi di tale politica la partecipazione dell'Unione all'azione internazionale finalizzata a combattere i cambiamenti climatici. In tal modo, viene riconosciuto chiaramente il ruolo di primo piano che l'UE può svolgere in questo campo sulla scena mondiale.

L'attuale politica ambientale europea è fondata sui principi di precauzione ed azione preventiva, sul principio di "chi inquina paga", su quello della correzione, dell'integrazione ambientale e dello sviluppo sostenibile, tutti enunciati nel secondo paragrafo dell'articolo 174, del Trattato CE.

Il principio di precauzione è stato introdotto in ambito europeo dal Trattato di Maastricht del 1993 che ne ha ribadito la centralità in una disposizione secondo cui la politica ambientale comunitaria deve basarsi proprio su tale principio. Il principio in oggetto era già operante a livello internazionale, infatti, il quindicesimo principio della Dichiarazione di Rio de Janeiro afferma che *gli Stati, al fine di proteggere l'ambiente, devono largamente applicare il metodo precauzionale* adattando una serie di misure preventive prima ancora che abbia inizio un processo di degrado ambientale.

Poiché il principio di precauzione ed i meccanismi che lo attivano non trovano piena definizione in nessuno dei trattati o in altri testi comunitari, ma la sua applicazione risulta essere di ampia portata, il Consiglio, nella sua risoluzione del 13 aprile 1999, ha chiesto alla Commissione di elaborare degli orientamenti chiari ed efficaci al fine di un'appropriata applicazione di detto principio.

Secondo la Commissione, il suddetto principio può essere invocato quando gli effetti potenzialmente pericolosi di un fenomeno, di un prodotto o di un processo siano stati identificati tramite una valutazione scientifica e obiettiva.

La Commissione sottolinea che esso può essere invocato solo

nell'ipotesi di un rischio potenziale e che non può in nessun caso giustificare una presa di decisione arbitraria. Il ricorso al principio di precauzione è, pertanto, giustificato solo quando esso riunisce tre condizioni, ossia: l'identificazione degli effetti potenzialmente negativi; la valutazione dei dati scientifici disponibili e l'ampiezza dell'incertezza scientifica.

Adottare il principio di precauzione su basi scientificamente fondate, specialmente quando i danni temuti possono essere seri, consente di ridurre i rischi e gli errori di valutazione. Seguendo questo principio le risorse naturali devono essere considerate e gestite come risorse limitate, d'importanza vitale per l'uomo e la biosfera, la cui quantità e qualità deve essere gelosamente e continuamente salvaguardata attraverso politiche volte a controllare e, ove possibile, a ridurre o azzerare sprechi, distruzioni e processi di inquinamento e di degrado evitando interventi dagli esiti incerti o non adeguatamente valutabili. Adottare il principio di precauzione nella gestione del territorio significa attribuire, nella scala delle valutazioni, un elevato livello di priorità alle qualità dei suoi assetti. Tale livello di priorità non deriva tanto e solo dall'aggravamento dei fattori di rischio – pure presente – ma dall'accresciuta percezione pubblica di tali rischi e dalla domanda diffusa di elevato livello di qualità territoriale e ambientale. Solo l'adozione consapevole del principio di precauzione consente di praticare un livello elevato di tutela del territorio, in sintonia con la nuova percezione dei rischi e la nuova domanda sociale di qualità.

Il principio dell'azione preventiva riveste, invece, importanza fondamentale in ogni politica ambientale efficace, perché permette di intraprendere azioni con anticipo rispetto all'aggravarsi dei problemi.

L'azione preventiva non viene intesa come azione riparatrice di un danno già avvenuto ma, piuttosto, il principio prevede l'adozione di misure che possano prevenire ogni possibile danno.

L'azione di prevenzione dei danni ambientali comporta un controllo di tutti i progetti e delle diverse iniziative che possano influenzare

negativamente lo stato dell'ambiente, mediante una procedura di valutazione dell'impatto ambientale da essi prodotto. A questo scopo è stata approvata la Direttiva comunitaria 27 giugno 1985, n. 337 modificata in seguito dalla Direttiva 3 marzo 1997, n. 11, nella quale si chiede agli Stati membri l'adozione della procedura di VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) nelle legislazioni interne degli Stati. Inoltre, con la Direttiva Comunitaria 2001/42/CE è stata introdotta la VAS (Valutazione Ambientale Strategica).

Quanto al principio "chi inquina paga" esso, introdotto dall'Atto Unico Europeo del 1987, esisteva a livello europeo già dal 1973. Il principio del "chi inquina paga" è fondato sulla logica dell'imputazione di responsabilità per danni causati da interventi inquinanti, facendo cadere sugli inquinatori i costi dell'inquinamento da essi prodotto. Rispetto al suddetto principio si pone, tuttavia, un problema preliminare. Poiché esso non rientra né tra i principi fiscali previsti dal diritto europeo originario, né tra quelli promananti dal diritto derivato, facendo esso riferimento alla politica ambientale in generale, ci si chiede se esso sia o meno direttamente vincolante per gli Stati membri che istituiscano tributi ambientali. Nel caso di tributi ambientali introdotti in attuazione di direttive, la risposta al quesito non può che essere affermativa; mentre, nel caso di tributi liberamente istituiti dagli Stati membri, l'applicazione del "chi inquina paga" è subordinata al rispetto del principio di sussidiarietà, secondo cui ogni decisione deve essere adottata al livello più vicino possibile al singolo.

La Direttiva 2004/35/CE⁸⁴ del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 aprile 2004, sulla responsabilità ambientale in materia di prevenzione e riparazione del danno ambientale, è il primo atto legislativo europeo che si pone come uno degli obiettivi principali l'applicazione del principio "chi inquina paga". Questa direttiva stabilisce un quadro comune di responsabilità al fine di prevenire e riparare i danni causati agli animali, alle piante, agli habitat naturali e alle risorse idriche, nonché i danni arrecati ai suoli. E' opportuno

rilevare, inoltre, che la Direttiva non prende in considerazione il cosiddetto “danno tradizionale”, ossia il danno a cose e a persone. L’art. 3 della Direttiva dispone, infatti, all’ultimo comma che “Ferma restando la pertinente legislazione nazionale, la presente direttiva non conferisce ai privati un diritto a essere indennizzati in seguito a un danno ambientale o a una minaccia imminente di tale danno”.

Le principali direttive europee di riferimento per quanto riguarda la vigente normativa ambientale sono:

- Direttive 97/101/CE e 2001/752/CE – “Sullo scambio reciproco di informazioni e di dati provenienti dalle reti e dalle singole stazioni di misurazione dell’inquinamento atmosferico negli Stati membri”
- Direttiva 96/62/CE - “Valutazione e gestione della qualità dell’aria ambiente”
- Direttiva 99/30/CE- “Valori limite di qualità dell’aria ambiente per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo”
- Direttiva 2000/69/CE - “Valori limite di qualità dell’aria ambiente per benzene ed il monossido di carbonio”
- Direttiva 2002/03/CE - “Valori limite di qualità dell’aria ambiente per l’ozono”
- Direttiva 2008/50/CE - “Qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa”

Le Direttive Europee sopra riportate hanno reso obbligatoria, sia in Italia che negli altri Stati membri, l’attuazione di programmi di monitoraggio della qualità dell’aria nelle zone urbane ed extra-urbane, in grado di fornire con continuità le concentrazioni medie orarie di numerosi agenti inquinanti e la conseguente definizione di piani di intervento, in caso di superamento dei limiti di accettabilità.

2.2 Analisi della normativa di riferimento europea per il controllo dell'inquinamento atmosferico

Con la Direttiva 80/779/CEE del Consiglio, del 15 luglio 1980, l'UE ha stabilito valori limite e valori guida di qualità dell'aria per l'anidride solforosa e le particelle in sospensione. A questa Direttiva hanno fatto seguito:

- la Direttiva 82/884/CEE del Consiglio (3 dicembre 1982) che stabiliva il valore minimo per il piombo contenuto nell'atmosfera;
- la Direttiva 85/203/CEE del Consiglio (7 marzo 1985) concernente le norme di qualità atmosferica per il biossido di azoto;
- la Direttiva 92/72/CEE del Consiglio (21 settembre 1992) sull'inquinamento dell'aria provocato dall'ozono.

Solo con la Direttiva 96/62/CE del Consiglio (27 settembre 1996) in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente vengono definiti i principi di base che consentono di:

- fissare obiettivi concernenti la qualità dell'aria ambiente;
- stabilire metodi e sistemi comuni di valutazione dell'aria;
- disporre e diffondere informazioni sulla qualità dell'aria.

Sulla base dei valori limite e delle soglie di allarme fissati dal Parlamento europeo e dal Consiglio, la Direttiva demanda agli Stati membri di mettere in atto dispositivi e mezzi per controllare la qualità dell'aria sul loro territorio.

Questa valutazione si svolge con vari metodi: per misurazione oppure per modellizzazione o attraverso una combinazione di questi due metodi o, infine, per stima. Tale valutazione è obbligatoria negli agglomerati con più di 250.000 abitanti oppure nelle zone in cui le concentrazioni sono vicine ai valori limite. In caso di superamento delle soglie di allarme, gli Stati membri devono stabilire un

programma che consenta di raggiungere i valori limite entro un termine fissato.

Tale programma, accessibile alla popolazione, deve in particolare contenere le seguenti informazioni:

- il luogo di superamento del livello di inquinamento;
- il tipo e la valutazione dell'inquinamento;
- l'origine dell'inquinamento.

Gli Stati sono obbligati a fissare un elenco delle zone e dei centri urbani in cui i livelli di inquinamento sono superiori ai valori limite. In caso di superamento dei valori limite, gli Stati membri devono informare la popolazione e trasmettere alla Commissione tutte le informazioni pertinenti sul livello registrato dell'inquinamento e sulla durata dell'allarme.

Da questa Direttiva quadro sulla qualità dell'aria ambiente sono poi derivati altri atti che hanno aiutato a definire un quadro normativo di riferimento per gli Stati Membri. Di seguito si riportano le principali Direttive che hanno definito e caratterizzato la politica ambientale europea.

La Direttiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio (15 dicembre 2004) concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nickel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente. Questa direttiva concernente la presenza di inquinanti che presentano un rischio per la salute umana è finalizzata ad applicare il principio secondo il quale l'esposizione a tali inquinanti debba essere al livello più basso che si possa ragionevolmente raggiungere. Inoltre la direttiva definisce metodi e criteri comuni per la valutazione delle concentrazioni e della deposizione delle sostanze in oggetto e garantisce che informazioni adeguate vengano raccolte e messe a disposizione del pubblico.

La Direttiva 2002/03/CE del Parlamento europeo e del Consiglio (12 febbraio 2002) relativa all'ozono nell'aria ha fissato obiettivi a lungo

termine, valori-obiettivo per il 2010, una soglia di allarme e un inizio di informazione sulle concentrazioni di ozono nell'aria e nell'ambiente UE. L'inosservanza dei valori-obiettivo costringe gli Stati membri a stabilire un piano di azione per la riduzione dell'ozono.

La Direttiva 2000/69/CE del 16 novembre 2000, concernente i valori limite per il benzene ed il monossido di carbonio nell'aria ambiente completa le disposizioni concernenti i valori limite della direttiva 96/62/CE per due singole sostanze inquinanti (il benzene e il monossido di carbonio). La direttiva dispone che gli Stati membri sono tenuti ad informare sistematicamente il pubblico sulle concentrazioni di tali sostanze nell'aria. A partire dall'11 giugno del 2010, la Direttiva 1999/30/CE (EN) concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo, la Direttiva 2000/69/CE concernente i valori limite per il benzene ed il monossido di carbonio nell'aria ambiente, la Direttiva 2002/3/CE relativa all'ozono nell'aria e la Decisione 97/101/CE (EN) che instaura uno scambio reciproco di informazioni e di dati sull'inquinamento atmosferico negli Stati membri, sono state abrogate e sostituite dalla Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. .

Questa Direttiva istituisce misure volte a:

- definire e stabilire obiettivi di qualità dell'aria, al fine di ridurre gli effetti nocivi per la salute e per l'ambiente;
- valutare la qualità dell'aria ambiente negli Stati membri sulla base di metodi e criteri comuni;
- raccogliere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente per monitorare in particolare le tendenze a lungo termine;
- garantire che le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente siano messe a disposizione del pubblico;
- mantenere la qualità dell'aria ambiente;

- promuovere una maggiore cooperazione tra gli Stati membri nella lotta contro l'inquinamento atmosferico.

La presente Direttiva stabilisce un regime di valutazione della qualità dell'aria ambiente con riferimento al biossido di zolfo, al biossido di azoto e agli ossidi di azoto, al particolato PM10 e PM2,5, al piombo, al benzene e al monossido di carbonio, nonché all'ozono. La Direttiva fissa delle soglie di valutazione per ciascun inquinante, i criteri relativi al metodo di valutazione (in particolare relativamente ai punti di campionamento), i metodi di misurazione di riferimento, i valori limite ai fini della protezione della salute umana e dell'ambiente, l'obiettivo e l'obbligo di riduzione dell'esposizione della popolazione al PM2,5, le soglie di informazione e di allarme, i livelli critici per la protezione della vegetazione e l'elenco delle informazioni che devono figurare nei piani d'azione destinati a migliorare la qualità dell'aria. Ciascuno Stato membro deve allestire almeno una stazione di misurazione oppure, previo accordo con gli Stati membri confinanti, può allestire una o più stazioni di misurazione comuni.

2.3 Analisi della normativa di riferimento nazionale per il controllo dell'inquinamento atmosferico

Le leggi nazionali che hanno recepito le Direttive Europee sono:

- le normative Eol sullo scambio dati;
- il Decreto Ministeriale n° 60 del 02/04/2002;
- il Decreto Legislativo n° 183 del 21/05/2004;
- il Decreto Legislativo n° 155 del 13/08/2010.

Di seguito si riportano gli aspetti principali dell'ultimo Decreto del 2010 che aggiorna ed integra quanto definito nei decreti precedenti e si descrivono le procedure dettate dalla normativa relativamente alla raccolta e trasmissione dati.

2.3.1 Analisi del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155

Il Decreto Legislativo n.155 del 2010, che recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE, introduce importanti novità nell'ambito del

complesso e stratificato quadro normativo in materia di qualità dell'aria ambiente, finalizzato a:

- individuare obiettivi di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso;
- valutare la qualità dell'aria ambiente sulla base di metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale;
- ottenere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente come base per individuare le misure da adottare per contrastare l'inquinamento e gli effetti nocivi dell'inquinamento sulla salute umana e sull'ambiente e per monitorare le tendenze a lungo termine, nonché i miglioramenti dovuti alle misure adottate;
- mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi;
- garantire al pubblico le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente;
- realizzare una migliore cooperazione tra gli Stati dell'Unione europea in materia di inquinamento atmosferico.

Di seguito vengono riportati e commentati i contenuti degli allegati più significativi del Decreto in esame.

L'Allegato I individua gli obiettivi di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e l'ambiente nel suo complesso. Tali obiettivi sono riportati nella tabella seguente.

	Biossido di zolfo, biossido di azoto e ossidi di azoto, monossido di carbonio	Benzene	Particolato (PM10/PM2,5) e piombo	Ozono e relativi NO e NO2
Misurazione in siti fissi				
Incertezza				
Raccolta minima dei dati	15%	25%	25%	15%
Periodo minimo di copertura	90%	90%	90%	90% in estate 75% in inverno
<ul style="list-style-type: none"> • stazioni di fondo in siti urbani e stazione traffico • stazioni industriali 	-	35%	-	-
	-	90%	-	-
Misurazioni indicative				
Incertezza	25%	30%	50%	30%
Raccolta minima dei dati	90%	90%	90%	90%
Periodo minimo di copertura	14%	14%	14%	>10% in estate
Incertezza della modellazione				
Medie orarie	50%	-	-	50%
Medie su 8 ore	50%	-	-	50%
Medie giornaliere	50%	-	Da definire	-
Medie annuali	30%	50%	50%	-
Stima obiettiva				
Incertezza	75%	100%	100%	75%

Tabella 2.3: Obiettivi di qualità delle diverse sostanze.

L'Allegato II classifica le zone e gli agglomerati ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente. Inoltre definisce le soglie di valutazione superiore e inferiore per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, particolato (PM10 e PM2,5), piombo, benzene, monossido di carbonio, arsenico, cadmio nichel e benzo(a)pirene.

Tali soglie sono individuate sia relativamente alla salute umana che agli effetti nocivi sulla vegetazione e sono riportate nelle tabelle seguenti.

	Protezione della salute umana	Protezione della vegetazione
Soglia di valutazione superiore Biossido di Zolfo	60% del valore limite sulle 24 ore (75 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile)	60% del livello critico invernale (12 µg/m ³)
Soglia di valutazione inferiore Biossido di Zolfo	40% del valore limite sulle 24 ore (50 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile)	40% del livello critico invernale (8 µg/m ³)

Tabella 2.4: Soglie di valutazione superiore e inferiore del biossido di zolfo (fonte: MATTM).

	Protezione della salute umana (NO)	Protezione della salute umana (NO₂)	Protezione della vegetazione (NO_x)
Soglia di valutazione Superiore Biossido di Azoto e Ossidi di Azoto	70% del valore limite orario (140 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile)	80% del valore limite annuale (32 µg/m ³)	80% del livello critico annuale (24 µg/m ³)
Soglia di valutazione Inferiore Biossido di Azoto e Ossidi di Azoto	50% del valore limite orario (100 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile)	65% del valore limite annuale (26 µg/m ³)	65% del livello critico annuale (19,5 µg/m ³)

Tabella 2.5: Soglie di valutazione superiore ed inferiore degli ossidi di azoto (fonte: MATTM).

	Media su 24 ore PM₁₀	Media annuale PM₁₀	Media annuale PM_{2,5}
Soglia di valutazione superiore Materiale Particolato (PM₁₀ PM_{2,5})	70% del valore limite (35 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile)	70% del valore limite (28 µg/m ³)	70% del valore limite (17 µg/m ³)
Soglia di valutazione Inferiore Materiale Particolato (PM₁₀ PM_{2,5})	50% del valore limite (25 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile)	50% del valore Limite (20 µg/m ³)	50% del valore Limite (12 µg/m ³)

Tabella 2.6: Soglie di valutazione superiore ed inferiore del materiale particolato (fonte: MATTM).

	Media annuale
Soglia di valutazione superiore Benzene	70% del valore limite (3,5 µg/m ³)
Soglia di valutazione inferiore Benzene	40% del valore limite (2 µg/m ³)

Tabella 2.7: Soglie di valutazione superiore ed inferiore del benzene (fonte: MATTM).

	Media su 8 ore
Soglia di valutazione superiore Monossido di Carbonio	70% del valore limite (7 mg/m ³)
Soglia di valutazione inferiore Monossido di Carbonio	50% del valore limite (5 mg/m ³)

Tabella 2.8: Soglie di valutazione superiore ed inferiore dell'ossido di carbonio (fonte: MATTM).

L'Allegato III dà indicazioni sull'ubicazione delle stazioni di misurazione per la valutazione della qualità dell'aria ambiente e delle concentrazioni in aria ambiente per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, piombo, particolato (PM10 e PM2,5), benzene, monossido di carbonio, arsenico, cadmio, mercurio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici. In particolare si definiscono i criteri di ubicazione delle stazioni a livello di macroscale (posizionamento delle stazioni in modo tale che l'area di rappresentatività del dato sia compreso tra 100 metri fino ad almeno 1000 chilometri quadrati a secondo del sito di campionamento) e a livello di microscale (ubicazione della sonda di prelievo, dello scarico del campionatore).

L'Allegato IV riguarda le stazioni di misurazione in siti fissi di campionamento per il monitoraggio delle concentrazioni di fondo per la specie chimica del PM2,5.

La misurazione del PM2,5 comprende almeno la concentrazione di massa totale e le concentrazioni dei componenti più idonei al fine di determinarne la composizione chimica, come indicato nella tabella seguente.

SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Carbonio elementare (CE)
NO_3^-	K^+	Cl^-	Mg^{2+}	Carbonio organico (CO)

Tabella 2.9: Specie chimiche da considerare nelle misurazioni del PM2,5.

L'Allegato V definisce il numero minimo delle stazioni di misurazione

per la valutazione della qualità dell'aria, in particolare per il monitoraggio del biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, particolato (PM10 e PM2,5), piombo, benzene, monossido di carbonio, arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene. Il numero delle stazioni è definito in relazione ai valori limite previsti per la protezione della salute umana ed alle soglie di allarme nelle zone e negli agglomerati in cui le misurazioni in siti fissi costituiscono l'unica fonte di informazioni.

Popolazione dell'agglomerato o della zona (in migliaia di abitanti)	Se la concentrazione massima supera la soglia di valutazione superiore		Se la concentrazione massima è compresa tra la soglia di valutazione superiore e quella inferiore	
	Per inquinanti diversi dal PM	Per il PM (PM10 e PM2,5)	Per inquinanti diversi dal PM	Per il PM (PM10 e PM2,5)
0 - 249	1	2	1	1
250 - 499	2	3	1	2
500 - 749	2	3	1	2
750 - 999	3	4	1	2
1000 - 1499	4	6	2	3
1500 - 1999	5	7	2	3
2000 - 2749	6	8	3	4
2750 - 3749	7	10	3	4
3750 - 4749	8	11	3	6
4750 - 5999	9	13	4	6
≥ 6000	10	15	4	7

Tabella 2.10: Numero minimo di stazioni per il monitoraggio del particolato.

Popolazione dell'agglomerato o della zona (in migliaia di abitanti)	Se le concentrazioni massime superano la soglia di valutazione superiore (1)		Se le concentrazioni massime sono comprese tra la soglia di valutazione superiore e quella inferiore	
	As, Cd, Ni	B(a)P	As, Cd, Ni	B(a)P
0 - 749	1	1 (2)	1	1
750 - 1999	2	2	1	1
2000 - 3749	2	3	1	1
3750 - 4749	3	4	2	2
4750 - 5999	4	5	2	2
≥ 6000	5	5	2	2

Popolazione dell'agglomerato o della zona (in migliaia di abitanti)	Se le concentrazioni massime superano la soglia di valutazione superiore (1)	Se le concentrazioni massime sono comprese tra la soglia di valutazione superiore e quella inferiore
<p>Deve essere prevista almeno una stazione di misurazione di fondo in siti urbani. Per il benzo(a)pirene deve essere prevista anche una stazione di misurazione di traffico in prossimità di una zona di traffico intenso; tale obbligo non comporta un aumento del numero minimo di stazioni di misurazione indicato in tabella</p> <p>(1) In presenza di una sola stazione, la stessa deve essere una stazione di misurazione di fondo in siti urbani</p>		

Tabella 2.11: Numero minimo di stazioni di monitoraggio per l'arsenico, il cadmio, il nichel e il benzo(a)pirene

L'Allegato VI dà indicazione dei metodi di riferimento per la misurazione dei diversi inquinanti; tali metodi verranno discussi nel Capitolo 4 del presente lavoro.

L'Allegato VII indica i valori obiettivo e gli obiettivi a lungo termine per l'ozono che vengono riportati nella tabella seguente. In presenza della luce del sole l'ozono, inquinante secondario che si forma attraverso reazioni fotochimiche, a partire da inquinanti precursori (principalmente ossidi di azoto e composti organici volatili) ha effetti sulla salute dell'uomo e sulla vegetazione. Il Decreto Legislativo n. 155/10, recependo quanto già contenuto nel DL 183/04, mantiene in essere un sistema di sorveglianza dell'inquinamento da ozono in tutto il territorio nazionale, confermando valori obiettivo, obiettivi a lungo termine, soglia di informazione e soglia di allarme da perseguire secondo una tempistica stabilita.

Valori obiettivo			
Finalità	Periodo di mediazione	Valore obiettivo (1.1.2010)	Data raggiungimento (2)
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni	2013 (dati 2010 – 2012)

Protezione della vegetazione	AOT40(1) Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	18000 µg/m ³ h come media su 5 anni	2015 (dati 2010 – 2014)
Obiettivi a lungo termine			
Finalità	Periodo di mediazione	Obiettivo a lungo Termine	Data raggiungimento (3)
Protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³	Non definito
Protezione della vegetazione	AOT40(1) Calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ h	Non definito
<p>(1) AOT40 (espresso in µg/m³h) si intende la somma delle differenze tra le concentrazioni > 80 µg/m³ e 80 µg/m³ rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00 (ora dell'Europa centrale).</p> <p>(2) Data entro la quale deve essere raggiunto il valore obiettivo</p> <p>(3) Data entro la quale deve essere raggiunto l'obiettivo a lungo termine</p>			

Tabella 2.12: Valori obiettivo e obiettivi a lungo termine per l'ozono

L'Allegato VIII definisce i criteri per la valutazione della qualità dell'aria ambiente e per l'ubicazione delle stazioni di misurazione delle concentrazioni in aria ambiente per l'ozono, sia a livello di macroscala che di microscala. A livello di microscala valgono, ove possibile, gli stessi criteri utilizzati per il monitoraggio degli inquinanti diversi dall'ozono (vedi allegato III), mentre a livello di macroscala valgono le definizioni di seguito.

Stazione in sito urbano: le stazioni devono essere ubicate a distanza dall'influenza di emissioni locali come traffico, distributori di carburante, ecc. Le stazioni devono essere collocate in aree sufficientemente areate da garantire un'adeguata miscelazione delle sostanze da misurare (per esempio zone cittadine ad uso residenziale o commerciale, parchi - lontano dagli alberi -, ampie strade o piazze con traffico minimo o nullo, zone aperte appartenenti a strutture scolastiche o ad impianti ricreativi o sportivi).

Stazioni in sito suburbano: le stazioni non devono essere ubicate nelle immediate vicinanze dell'area di massima emissione, né

sottovento rispetto a tale area tenuto conto della direzione o delle direzioni principali del vento, in condizioni favorevoli alla formazione di ozono. Le stazioni devono essere collocate in aree in cui la popolazione, le colture sensibili o gli ecosistemi naturali situati ai margini estremi di un agglomerato sono esposti ad elevati livelli di ozono. Se opportuno, devono essere collocate alcune stazioni in sito suburbano e sopravvento rispetto all'area di massima emissione, al fine di determinare i livelli regionali di inquinamento di fondo da ozono.

Stazioni in sito rurale: le stazioni possono essere situate in piccoli insediamenti e/o aree con ecosistemi naturali, foreste o colture.

Stazioni di fondo in sito rurale: le stazioni devono essere ubicate in aree a bassa densità di popolazione, per esempio con ecosistemi naturali e foreste, ad una distanza di almeno 20 Km da aree urbane ed industriali e distanti dall'influenza delle emissioni locali di condizioni di inversione a livello del suolo, nonché la sommità delle montagne, è preferibile evitare le zone costiere caratterizzate da evidenti cicli di vento diurni a carattere locale.

L'Allegato IX definisce il numero minimo di stazioni di misurazione per l'ozono in funzione della popolazione, come riassunto nella tabella seguente.

Popolazione (x1000)	Agglomerati (stazioni in siti urbani e suburbani)	Altre zone (stazioni siti suburbani e rurali)
<250		1
<500	1	2
<1000	2	2
<1500	3	3
<2000	3	4
<2750	4	5
<3750	5	6
>3750	1 stazione supplementare per 2 milioni di abitanti	1 stazione supplementare per 2 milioni di abitanti

Tabella 2.13: Numero minimo di stazioni di misurazione nelle zone e negli agglomerati in cui le misurazioni in siti fissi costituiscono l'unica fonte di informazioni.

L'Allegato X definisce i criteri e gli obiettivi per la misurazione dei precursori dell'ozono.

La misurazione dei precursori dell'ozono comprende almeno gli ossidi di azoto (NO e NO₂) e gli appropriati composti organici volatili (COV).

	1-butene	isoprene	etilbenzene
etano	trans-2-butene	n-esano	m- + p-xilene
etilene	cis-2-butene	isoesano	o-xilene
acetilene	1,3-butadiene	n-eptano	1,2,4-trimetilbenzene
propano	n-pentano	n-ottano	1,2,3-trimetilbenzene
propene	isopentano	Isottano	1,3,5- trimetilbenzene
n-butano	1-pentene	benzene	formaldeide
isobutano	2-pentene	toluene	idrocarburi non metanici totali

Tabella 2.14: Composti organica volatili (COV).

L'Allegato XI definisce i valori limite e i livelli critici dei diversi inquinanti normati. Tali valori sono riassunti nelle tabelle seguente per ciascun inquinante.

Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza
Biossido di zolfo		
1 ora	350 µg/m ³ , da non superare più di 24 volte per un anno civile	
1 giorno	125 µg/m ³ , da non superare più di 3 volte per un anno civile	
Biossido di azoto		
1 ora	200 µg/m ³ , da non superare più di 18 volte per anno civile	50% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010
Anno civile	40 µg/m ³	50% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010

Benzene		
Anno civile	5 µg/m ³	5 µg/m ³ (100%) il 13 dicembre 2000, con una riduzione il 1° gennaio 2006 e successivamente ogni 12 mesi di 1 µg/m ³ fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2010
Monossido di carbonio		
Media massima giornaliera su 8 ore	10 mg/m ³	
Piombo		
Anno civile	0,5 µg/m ³	
PM10		
1 giorno	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile	50% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005
Anno civile	40 µg/m ³	20% il 19 luglio 1999, con una riduzione il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2005
PM2,5		
Anno civile	25 µg/m ³	20% l'11 giugno 2008, con una riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 1° gennaio 2015

Tabella 2.15: Valori limite dei diversi inquinanti.

L'Allegato XII definisce le soglie di informazione e di allarme per l'ozono.

Inquinante	Soglia di allarme
Biossido di zolfo	500 µg/m ³
Biossido di azoto	400 µg/m ³

Tabella 2.16: Soglie di allarme per inquinanti diversi dall'ozono.

Finalità	Periodo di mediazione	Soglia
Informazione	1 ora	180 µg/m ³
Allarme	1 ora	240 µg/m ³

Tabella 2.17: Soglie di allarme per l'ozono.

L'Allegato XIII definisce i valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene.

Inquinante	Valore obiettivo
Arsenico	6 ng/m ³
Cadmio	5 ng/m ³
Nichel	20 ng/m ³
Benzo(a)pirene	1 ng/m ³

Tabella 2.18: Obiettivi per Arsenico, Cadmio, Nichel, Benzo(a)pirene (il valore obiettivo è riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione di PM10 del materiale particolato, calcolato come media su anno civile).

Il valore obiettivo del benzo(a)pirene viene usato come marker per il rischio cancerogeno degli idrocarburi policiclici aromatici.

Suggerisce inoltre, in un numero limitato di stazioni, di effettuare, contestualmente al benzo(a)pirene la misurazione delle concentrazioni nell'aria ambiente di benzo(a)antracene, benzo(b)fluorantene, benzo(j)fluorantene, benzo(k)fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene e dibenzo(a,h)antracene, al fine di verificare la costanza dei rapporti nel tempo e nello spazio tra il benzo(a)pirene e gli altri idrocarburi policiclici aromatici di rilevanza tossicologica.

L'Allegato XIV definisce l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione, l'obbligo di concentrazione dell'esposizione e il valore obiettivo per il PM2,5

Obiettivo di riduzione dell'esposizione relativo all'IEM nel 2010		Anno entro il quale dovrebbe essere raggiunto l'obiettivo di riduzione dell'esposizione
Concentrazione iniziale in µg/m ³	Obiettivo di riduzione in percentuale 2020	2020
≤ 8,5	0%	
> 8,5 ÷ <13	10%	
= 13 ÷ <18	15%	
= 18 ÷ 22	20%	
≥ 22	Tutte le misure appropriate per conseguire l'obiettivo 18 µg/m ³	

Tabella 2.19: Indicatore di esposizione media per il PM2,5.

L'Allegato XV riguarda le informazioni da includere nei piani di qualità dell'aria ambientale, quindi informazioni di carattere generale sulla zona di monitoraggio, luoghi in cui è stato rilevato il superamento dei limiti, analisi dello stato di inquinamento e della sua origine.

L'Allegato XVI infine riguarda le modalità di informazione al pubblico relativamente al monitoraggio effettuato.

Il decreto consta inoltre di 11 appendici che dettagliano ulteriormente alcuni aspetti. L'Appendice I in particolare dettaglia i criteri per la zonizzazione del territorio.

Nel processo di zonizzazione si deve procedere, in primo luogo, all'individuazione degli agglomerati e, poi, all'individuazione delle altre zone.

Si definisce agglomerato una zona costituita da un'area urbana o da un insieme di aree urbane che distano tra loro non più di qualche chilometro oppure da un'area urbana principale e dall'insieme delle aree urbane minori che dipendono da quella principale sul piano demografico, dei servizi e dei flussi di persone e merci, avente:

- una popolazione superiore a 250.000 abitanti;
- una popolazione inferiore a 250.000 abitanti e una densità di popolazione per km² superiore a 3.000 abitanti.

Per gli inquinanti con prevalente o totale natura "secondaria" (il PM₁₀, il PM_{2,5}, gli ossidi di azoto e l'ozono), il processo di zonizzazione presuppone l'analisi delle caratteristiche orografiche e meteorologiche, del carico emissivo e del grado di urbanizzazione del territorio, al fine di individuare le aree in cui una o più di tali caratteristiche sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti. Tali aree devono essere accorpate in zone contraddistinte dall'omogeneità delle caratteristiche predominanti. Le zone possono essere costituite anche da aree tra loro non contigue purché omogenee sotto il profilo delle caratteristiche predominanti. Per esempio, è

possibile distinguere nel territorio le zone montane, le valli, le zone costiere, le zone ad alta densità di urbanizzazione, le zone caratterizzate da elevato carico emissivo in riferimento ad uno o più specifici settori (ad esempio traffico e/o attività industriali), ecc.

Per gli inquinanti “primari” (il piombo, il monossido di carbonio, gli ossidi di zolfo, il benzene, il benzo(a)pirene e i metalli), la zonizzazione deve essere effettuata in funzione del carico emissivo.

Nell’individuazione delle zone si deve fare riferimento, ai confini amministrativi degli enti locali; per esempio, nel caso in cui il territorio regionale sia suddiviso, in zona montana e zona di valle ed il territorio amministrativo di un comune ricada, per parti sostanziali, in entrambe, é possibile delimitare le zone con una linea geografica di demarcazione identificata sulla base delle caratteristiche orografiche del territorio piuttosto che utilizzare i confini amministrativi.

Nel caso in cui la zonizzazione non sia riferita, ai confini amministrativi degli enti locali, il confine della zona deve essere individuato tramite apposite mappe (mediante “shape file”).

Le zonizzazioni effettuate in relazione ai diversi inquinanti devono essere tra loro integrate in modo tale che, laddove siano state identificate per un inquinante zone più ampie e per uno o altri inquinanti zone più ridotte, é opportuno che le zone più ampie coincidano con l’accorpamento di quelle più ridotte.

La zonizzazione relativa alla valutazione della qualità dell’aria con riferimento alla vegetazione ed agli ecosistemi non corrisponde necessariamente a quella relativa alla valutazione della qualità dell’aria con riferimento alla salute umana.

2.3 Trasmissione e raccolta dati di monitoraggio

La Commissione Europea, attraverso le direttive 97/101/CE e 2001/752/CE, ha diramato le linee guide per lo scambio dati tra gli stati membri e l’Europa denominate EoI (Exchange of Information); attraverso questo sistema, viene istituito uno scambio reciproco di

informazioni e di dati provenienti dalle singole reti e dalle stazioni di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico negli stati membri.

Ogni Stato membro designa uno o più organi responsabili del funzionamento dello scambio reciproco e ne informa la Commissione europea ed è responsabile dei dati trasmessi.

I dati vengono inviati alla Commissione Europea entro il 1° Ottobre di ciascun anno in una base dati DEM-Data Exchange Module o formato compatibile fornito dalla Commissione.

Le linee guide prevedono, in particolare, le seguenti informazioni:

- Raccolta dati di ozono nei mesi da aprile a settembre. Sistema di raccolta dati e metadati relativi all'ozono estivo ai sensi del D.Lgs 155/2010. "Ozono estivo" Tali dati vanno trasmessi, nel periodo che va da Aprile a Settembre di ogni anno, con cadenza mensile. Inoltre viene richiesto a fine periodo, e comunque non oltre il 1° ottobre di ogni anno, una trasmissione con dati che caratterizzano il riassunto del periodo.
- Raccolta dati di qualità dell'aria. Sistema di raccolta dati e metadati relativi alla qualità dell'aria ai sensi delle Decisioni 97/101/CE e 2001/752/CE sull'Exchange of Information (EoI), entro 6 mesi dalla conclusione dell'anno di raccolta dati.

Viene inoltre richiesto agli stati membri un questionario composto da numerosi moduli, illustrato nel DM 60 del 2002. Il formato del questionario è stato modificato dal D.lgs 155/2010, che ha recepito la direttiva 2004/461/CE. Essa ha infatti fornito agli Stati membri una versione aggiornata del questionario annuale per la valutazione della qualità dell'aria definito nella Direttiva Quadro 96/62/CE e dalle Direttive da essa derivate.

Le informazioni, relative all'ambito territoriale nazionale, sono raccolte a livello locale dai Punti Focali Regionali e successivamente trasmesse all'ISPRA. BRACE è nata dalla necessità di adempiere a diverse esigenze dettate dalla normativa europea e nazionale in tema di qualità

dell'aria. Da una parte la Decisione 97/101/CE che instaura uno scambio reciproco di informazioni e di dati provenienti dalle reti e dalle singole stazioni di misurazione dell'inquinamento atmosferico negli Stati membri. La Decisione 97/101/CE e le sue procedure applicative sono comunemente conosciute con la sigla "Exchange of Information" (EoI). Dall'altra la Direttiva 96/62/CE che pone le basi in materia di valutazione e gestione della qualità dell'aria ambiente e che è seguita da una serie di Direttive attuative, tra cui in particolare la Direttiva 2002/3/EC relativa all'ozono in aria ambiente.

Nell'ambito dell'EoI le informazioni sono trasmesse dall'ISPRA all'Agenzia Europea per l'Ambiente (European Environment Agency - EEA) ed in seguito archiviate nel database europeo AIRBASE.

2.4 Limiti Normativi

La normativa ambientale oltre a stabilire quali siano i valori di allarme e di soglia stabilisce anche quale debba essere l'accuratezza delle misurazioni e la metodologia da seguire.

Le misurazioni della qualità dell'aria effettuate ai sensi del D.Lgs.155/2010 devono:

- essere riferibili ai campioni e agli strumenti di riferimento secondo i requisiti previsti delle norma ISO/IEC 17025:2005;
- essere predisposte ed applicate procedure di garanzia di qualità per le reti di misura, per le stazioni di misurazione e per il rilevamento, in cui si prevedano anche le attività di manutenzione periodica volte a garantire l'accuratezza degli strumenti di misura;
- essere predisposte e applicate apposite procedure di garanzia di qualità per la comunicazione dei dati rilevati;
- essere effettuati i controlli volti ad accertare il rispetto delle procedure di garanzia di qualità.

La collocazione delle stazioni di misurazione e dei siti fissi di campionamento viene regolata dalle definizioni fornite nell'allegato III del d.lgs. 155/2010.

Le stazioni di misurazione di traffico sono ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da emissioni da traffico, provenienti da strade limitrofe con intensità di traffico medio alta.

Le stazioni di misurazione di fondo sono ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento non sia influenzato prevalentemente da emissioni da specifiche fonti (industrie, traffico, riscaldamento residenziale, ecc.) ma dal contributo integrato di tutte le fonti poste sopravvento alla stazione rispetto alle direzioni predominanti dei venti nel sito.

Le stazioni di misurazione industriali sono ubicate in posizione tale che il livello di inquinamento sia influenzato prevalentemente da singole fonti industriali o da zone industriali limitrofe.

I siti fissi di campionamento urbani sono siti fissi inseriti in aree edificate in continuo o almeno in modo predominante;

I siti fissi di campionamento suburbani sono siti fissi inseriti in aree largamente edificate in cui sono presenti sia zone edificate, sia zone non urbanizzate;

I siti fissi di campionamento rurali sono siti fissi inseriti in tutte le aree diverse da quelle urbane e suburbane. Il sito fisso si definisce rurale remoto se é localizzato ad una distanza maggiore di 50 km dalle fonti di emissione.

In relazione ai valori limite finalizzati alla protezione della salute umana la qualità dell'aria ambiente non deve essere valutata:

- nei luoghi in cui il pubblico non ha accesso e in cui non esistono abitazioni fisse;
- nei luoghi di lavoro;
- presso le carreggiate delle strade.

Altri vincoli sono i requisiti tecnici richiesti affinché l'area di lavoro sia idonea a ospitare le apparecchiature utilizzate e allo svolgimento delle attività. Devono essere tenute sotto controllo le condizioni ambientali (temperatura, umidità ed eventualmente altre) che possono

influenzare l'esito dell'attività stessa. Le apparecchiature utilizzate devono essere conformi alle specifiche richieste dalla prova in oggetto e sottoposte a un programma di taratura periodica. Ogni elemento delle apparecchiature e il relativo software deve essere identificato univocamente, inoltre devono essere conservate le relative registrazioni (uso, tarature, manutenzioni, non conformità, ecc.). Devono essere definite le procedure di campionamento, così come il trasporto, ricezione e conservazione dei campioni.

2.5 Limiti e vincoli della strumentazione e degli operatori

La strumentazione automatica utilizzata per il controllo dell'inquinamento atmosferico normalmente collocata in una stazione di monitoraggio fissa o in un laboratorio mobile deve rispondere a determinate caratteristiche previste dalla normativa vigente.

Nella seguente tabella sono riepilogati, a titolo esemplificativo, i principi di funzionamento e i limiti di rilevabilità nominale generalmente riscontrabili in alcuni tipi di analizzatori certificati ed utilizzati nel monitoraggio degli inquinanti atmosferici:

Inquinante	Principio di funzionamento	Limite inferiore rilevabile	Range Min/Max	Campo di temperatura
CO	Assorbimento IR	0.04 ppm (c.a. 0.046mg/m ³)	da 0-1 ppm a 0-1000 ppm	10 a 40°C
SO ₂	Fluorescenza UV	0.04 ppb (c.a. 0.11 µg/m ³)	Min: 0-50 ppb Max: 0-20 ppm	5 - 40°C
NO _x	Chemiluminescenza	0.05 ppb	Min: 0-5 ppb Max: 0-2000 ppb	5 - 35°C
O ₃	Assorbimento UV	0.6 ppb (c.a. 1.18 µg/m ³)	Min: 0-100 ppb Max: 0-10 ppm	5 - 40°C

Tabella 1: principi di funzionamento e i limiti di rilevabilità nominale in analizzatori certificati.

Il metodo analitico utilizzato deve essere validato e deve essere nota l'incertezza associata alla misura, assicurando in questo modo che i requisiti richiesti per l'utilizzazione del metodo siano soddisfatti. Il personale addetto alle operazioni di misura deve possedere la preparazione necessaria all'attività da svolgere e all'utilizzo di

apparecchiatura scientifica, inoltre è sottoposto ad un aggiornamento tecnico-scientifico continuo.

2.6 La calibrazione

L'affidabilità e l'utilità di tutti i dati ottenuti da un analizzatore o da uno strumento da banco dipendono principalmente dallo stato della sua calibrazione. La calibrazione è il processo di verifica analitica su più punti rispetto a standard noti e comporta l'introduzione di quantità di campioni (gas o liquidi) a concentrazione nota nello strumento per regolarlo su una sensibilità predeterminata. Questa relazione viene ottenuta dalla risposta strumentale a campioni successivi aventi concentrazioni note e differenti. Il requisito minimo per definire questa relazione è di ottenere dai tre ai cinque punti di riferimento ed un punto di zero. Per assicurare misurazioni precise dei livelli di concentrazione, lo strumento deve essere calibrato al momento dell'installazione e ricalibrato quando necessario.

Durante la calibrazione, lo strumento deve campionare l'aria di test attraverso tutti i componenti usati durante il normale controllo ambientale e attraverso il sistema di entrata dell'aria ambiente. Se lo strumento è utilizzato su più intervalli di misura, deve essere calibrato separatamente su ogni range applicabile.

Tutti gli strumenti di monitoraggio sono soggetti a una certa deriva e a variazione dei parametri interni, e non ci si può aspettare che mantengano una calibrazione precisa per lunghi periodi di tempo. Di conseguenza, è necessario controllare dinamicamente la relazione di calibrazione con un programma predefinito. Le verifiche dello zero e dello span devono essere usate per documentare che i dati rimangono entro i limiti di controllo. Queste verifiche sono usate anche nella riduzione e validazione dei dati.

Capitolo 3

Inquinanti Atmosferici

Per la normativa ambientale italiana, l'aria ambiente è l'aria esterna presente nella troposfera, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro definiti all'interno del Decreto Legislativo n.81 del 9 aprile 2008. In base alla normativa, sono indicati come inquinanti tutte quelle sostanze presenti nell'aria che possono avere effetti dannosi sulla salute umana o sull'ambiente nel suo complesso.

Le possibili classificazioni degli inquinanti atmosferici possono essere molteplici; una delle classificazioni principali consiste nel suddividere gli inquinanti in base allo stato fisico e, pertanto, avremo:

- sostanze gassose, includenti i gas e i vapori;
- sostanze in sospensione o particolato allo stato solido o liquido.

Altra classificazione può essere effettuata con riferimento alla sorgente di emissione delle sostanze inquinanti, tali sorgenti possono avere origine naturale, e quindi emesse da sorgenti non correlate da attività umane (vulcani, oceani, processi naturali); oppure origine antropica, cioè emesse da sorgenti correlate ad attività umane (trasporti, industria, conversione di energia, etc.).

Le sostanze possono, ancora, essere classificate in base alla loro genesi; in questo caso si parla di inquinanti primari, emessi direttamente dalle sorgenti; e di inquinanti secondari, che si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche tra inquinanti primari e altre sostanze normalmente presenti nell'aria.

Una classificazione ulteriore degli inquinanti si basa sul loro comportamento chimico, cioè possono essere suddivisi in:

- inquinanti inerti, ovvero non suscettibili, in condizioni tipiche di esistenza in atmosfera, di partecipazione a reazioni chimiche;

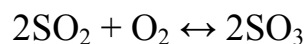
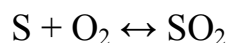
- inquinanti secondari, suscettibili, in condizioni tipiche di esistenza in atmosfera, di partecipazione a reazioni chimiche.

Effettuiamo adesso una breve analisi dei principali inquinanti atmosferici.

3.1 Ossido di zolfo

Lo zolfo (S) è un elemento che interviene nella dinamica di processi chimici e fisici dell'aria attraverso un ciclo ben definito, durante il quale diversi suoi composti vengono immessi e rimossi dall'atmosfera. Gli ossidi di zolfo più comuni, indicati con il termine comune SO_x , presenti in atmosfera sono l'anidride solforosa (SO_2) e l'anidride solforica (SO_3).

Il meccanismo semplificato della formazione degli SO_x è rappresentato da due equilibri:



Il biossido di zolfo o anidride solforosa (SO_2) è un inquinante primario, tipico prodotto di emissione da processi di combustione. Il biossido di zolfo è un gas incolore, irritante, non infiammabile, molto solubile in acqua e dall'odore pungente. Una volta immessa nell'aria, l'anidride solforosa può reagire chimicamente con l'ossigeno, il vapore acqueo e le polveri in sospensione per formare diversi tipi di ossidi, acidi e sali come l'acido solforico, responsabile in gran parte del fenomeno di acidificazione delle precipitazioni.

I fenomeni di inquinamento da composti sulfurei sono tipici delle aree antropizzate e discendono da processi di combustione dei combustibili fossili e liquidi, contenenti zolfo, fra cui carbone, petrolio, gasolio e oli combustibili. Rilevanti sono anche le emissioni nei processi di produzione dell'acido solforico, nella lavorazione di materie plastiche, nell'incenerimento dei rifiuti.

L'emissione di biossido di zolfo in Italia è dovuta al riscaldamento

domestico, ai processi industriali e alla produzione di energia elettrica dalle centrali termoelettriche. Il biossido di zolfo essendo più pesante dell'aria tende a stratificarsi nelle zone più basse dell'atmosfera, e rimanendo per alcuni giorni subisce reazioni di trasformazione, principalmente di ossidazione ricadendo in seguito come acido solforico nelle piogge "acide". Di notte viene assorbito dalle goccioline di acqua presenti nell'aria dando origine ad un aerosol che provoca foschia nelle prime ore del giorno. Negli ultimi anni, a causa degli interventi adottati per il miglioramento della qualità dei combustibili e per la diffusione della metanizzazione degli impianti di riscaldamento, l'emissione degli ossidi di zolfo si è notevolmente ridotta.

Per quanto riguarda gli effetti sulla salute dell'uomo a basse concentrazioni gli effetti del biossido di zolfo sono principalmente legati a patologie dell'apparato respiratorio come bronchiti, asma, tracheiti e ad irritazioni della pelle, degli occhi e delle mucose.

L'azione principale operata dagli ossidi di zolfo ai danni dell'ambiente consiste nell'acidificazione delle precipitazioni meteorologiche con la conseguente compromissione dell'equilibrio degli ecosistemi interessati. Gli effetti corrosivi dell'acido solforico si riscontrano anche, sui metalli, sulle vernici, sui materiali da costruzione, sui monumenti e sulle opere d'arte. Il biossido di zolfo, a basse concentrazioni, provoca un rallentamento nella crescita delle piante, mentre ad alte concentrazioni determina irreparabilmente la morte fisiologica.

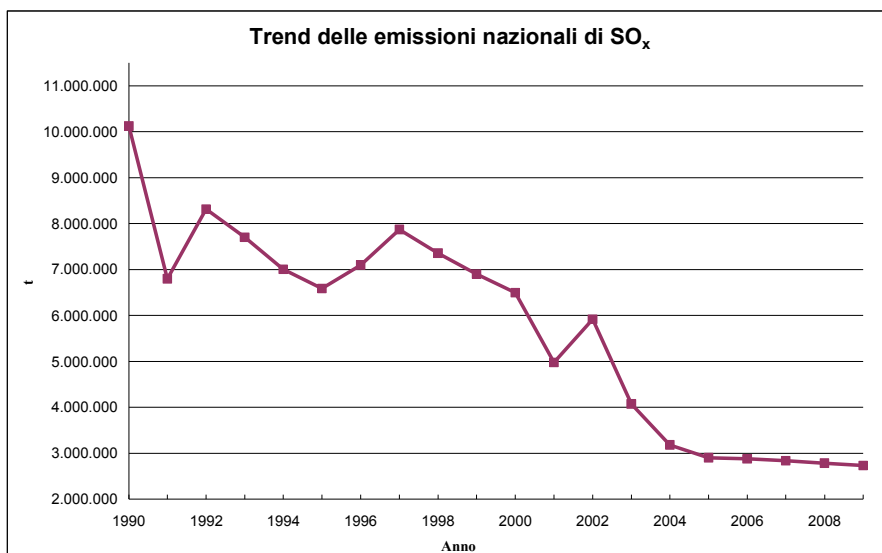


Figura 3.1: Serie storiche delle emissioni nazionali (SNAP 1990-2009).

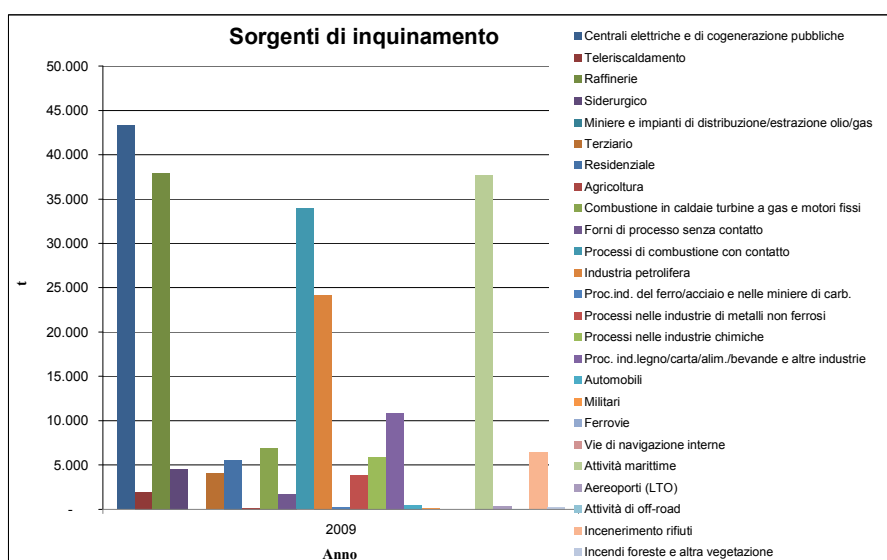
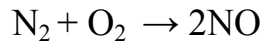


Figura 3.2: Sorgenti di inquinamento della specie SO_x (Fonte ISPRA).

3.2 Ossidi di azoto

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, i due più importanti esponenti di questa famiglia dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico sono l'ossido e il diossido di azoto.

Quando l'azoto e l'ossigeno, presenti nell'aria rispettivamente nelle percentuali dell'80% e del 20%, interagiscono in processi caratterizzati da elevate temperature (almeno di 1200° C), sono responsabili della formazione del monossido di azoto, il quale a sua volta ossidandosi forma diossido di azoto secondo le seguenti reazioni:



Il biossido di azoto è un gas di colore rosso bruno, di odore forte e pungente, altamente tossico e irritante. In generale gli ossidi di azoto sono generati da processi di combustione per reazione diretta tra l'azoto e l'ossigeno dell'aria ad alta temperatura producendo come componente principale il monossido di azoto.

Il monossido di azoto presente in aria ambiente reagisce con l'ozono e i radicali ossidanti trasformandosi in biossido di azoto. I fumi di scarico degli autoveicoli contribuiscono all'inquinamento da NO, e la quantità delle emissioni dipende dalle caratteristiche del motore e dalla modalità del suo utilizzo.

Gli ossidi di azoto si possono ritenere fra gli inquinanti atmosferici più critici, non solo perché il biossido di azoto in particolare presenta effetti negativi sulla salute, ma anche perché, in condizioni di forte irraggiamento solare, provocano delle reazioni fotochimiche secondarie che creano sostanze inquinanti (smog fotochimico): in particolare è un precursore dell'ozono troposferico e della componente secondaria delle polveri sottili.

Per quanto riguarda gli effetti sulla salute dell'uomo, gli ossidi di azoto risultano potenzialmente pericolosi per la salute. In particolare il monossido di azoto analogamente al monossido di carbonio agisce sull'emoglobina fissandosi ad essa con la formazione di metaemoglobina e nitroso metaemoglobina. Questo processo interferisce con la normale ossigenazione dei tessuti da parte del sangue. Il biossido di azoto esercita il suo effetto tossico principalmente sugli occhi, sulle mucose e sui polmoni. I soggetti più a rischio sono i bambini e gli asmatici.

Per quanto riguarda l'ambiente, il meccanismo principale di aggressione è costituito dall'acidificazione del suolo (fenomeno delle piogge acide). Gli ossidi di azoto e i loro derivati danneggiano, provocando un invecchiamento accelerato, i materiali degli edifici, di

monumenti ed opere d'arte.

Le sorgenti naturali degli ossidi di azoto sono costituite essenzialmente dalle decomposizioni organiche anaerobiche, dall'azione dei fulmini, dagli incendi e dalle emissioni vulcaniche. La principale fonte antropogenica di ossido di azoto è data dalle combustioni ad alta temperatura, come quelle che avvengono nei motori degli autoveicoli. I motori diesel emettono concentrazioni maggiori di ossidi di azoto e particolato rispetto ai motori a benzina, i quali però emettono più ossido di carbonio e idrocarburi. Altre importanti sorgenti sono gli impianti termici e le centrali termoelettriche, la produzione di fertilizzanti azotati, la produzione di acido nitrico per ossidazione dell'ammoniaca, la fabbricazione degli esplosivi e tutti i processi chimici che impiegano acido nitrico.

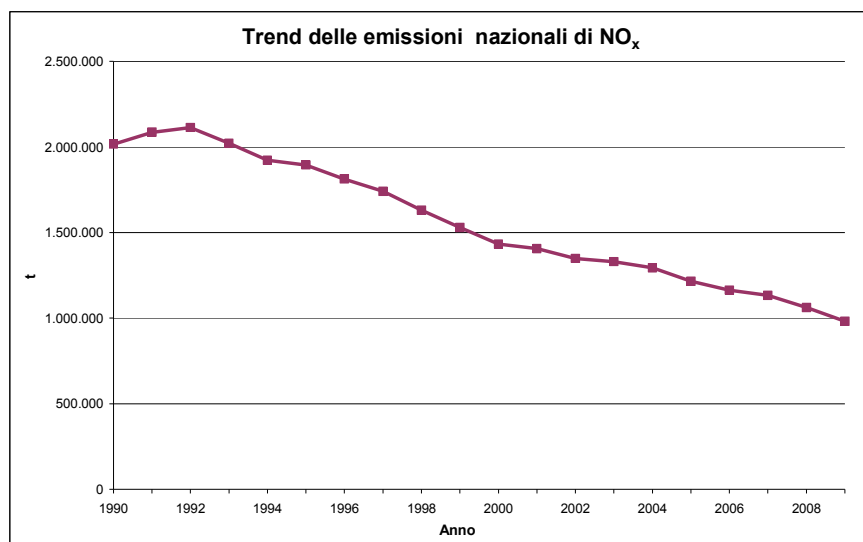


Figura 3.3: Serie storiche delle emissioni nazionali (SNAP 1990-2009).

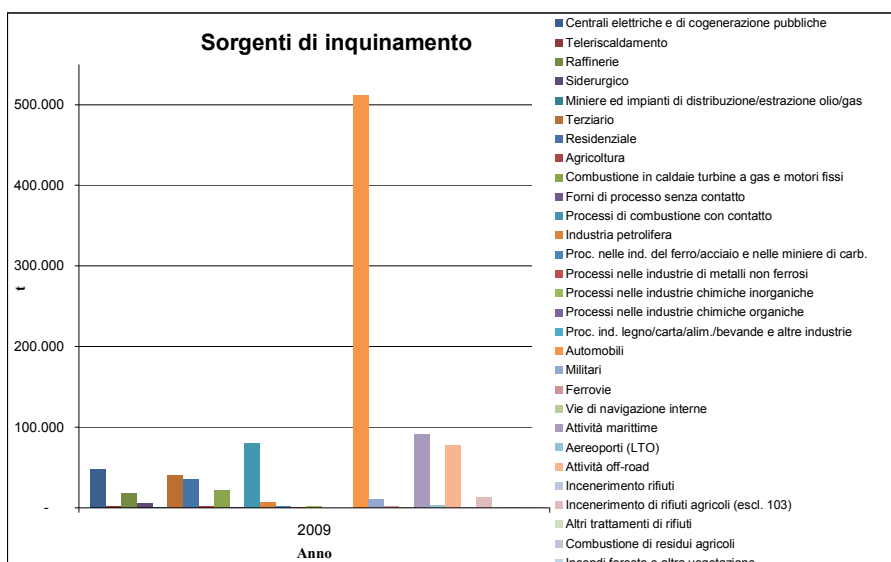


Figura 3.4: Sorgenti di inquinamento della specie NO_x (Fonte ISPRA).

3.3 Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio (CO) e l'anidride carbonica (CO₂) sono i due principali ossidi di carbonio di interesse ambientale. Tra i due, solo il CO è ritenuto, per la sua tossicità, un vero e proprio inquinante e tale è considerato dalla normativa vigente relativa al controllo dello stato di qualità dell'aria. Nella normale combustione del carbonio (500÷600° C) si forma diossido di carbonio (CO₂) oppure ossido di carbonio (CO) a seconda che si operi in eccesso o in difetto di aria; se però la combustione avviene ad alta temperatura (> 1500° C), si forma praticamente solo ossido di carbonio.

Il monossido di carbonio è un gas inodore, insapore e altamente tossico.

La principale causa della presenza di monossido di carbonio nell'atmosfera è di tipo antropico. Il monossido di carbonio è estremamente diffuso nelle aree urbane a causa dell'inquinamento prodotto dagli scarichi autoveicolari. Infatti, la fonte principale di emissione da parte dell'uomo è costituita dall'utilizzo dei combustibili fossili per i motori a scoppio degli autoveicoli e dalle attività industriali di impianti siderurgici e petrolchimici.

Una volta respirato il monossido di carbonio si lega all'emoglobina

formando la carbossiemoglobina, un composto con la capacità di interferire con il normale trasporto di ossigeno presente nel sangue. Ad alte concentrazioni il monossido di carbonio può causare l'aggravamento di problemi cardiovascolari e l'impedimento delle funzioni psicomotorie. I primi sintomi dell'avvelenamento sono l'emicrania, sonnolenza e senso di vertigine. Il CO si origina durante la combustione incompleta di sostanze organiche, per difetto di ossigeno. Le principali emissioni naturali sono dovute agli incendi boschivi, alle eruzioni dei vulcani, alle emissioni da oceani e paludi e all'ossidazione del metano e degli idrocarburi in genere emessi naturalmente in atmosfera.

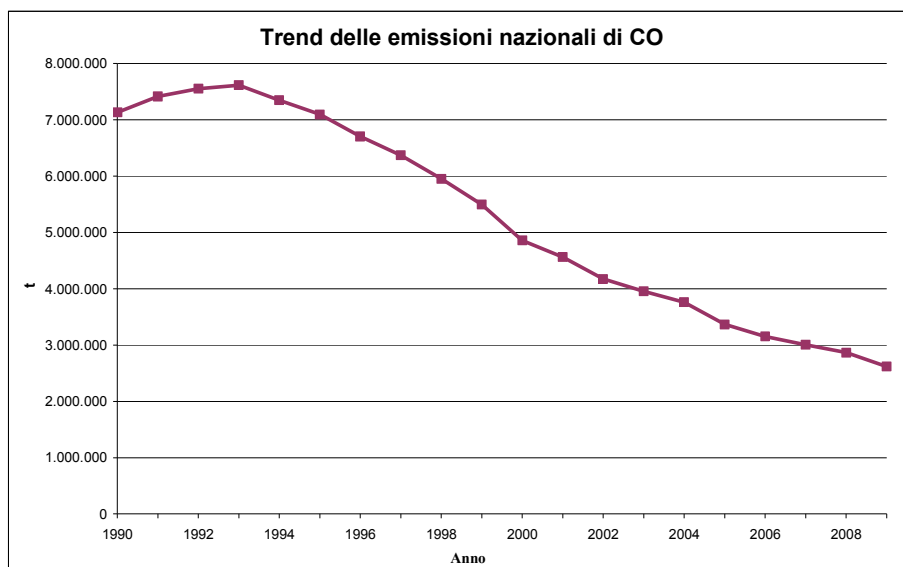


Figura 3.5: Serie storiche delle emissioni nazionali di CO SNAP 1990-2009.

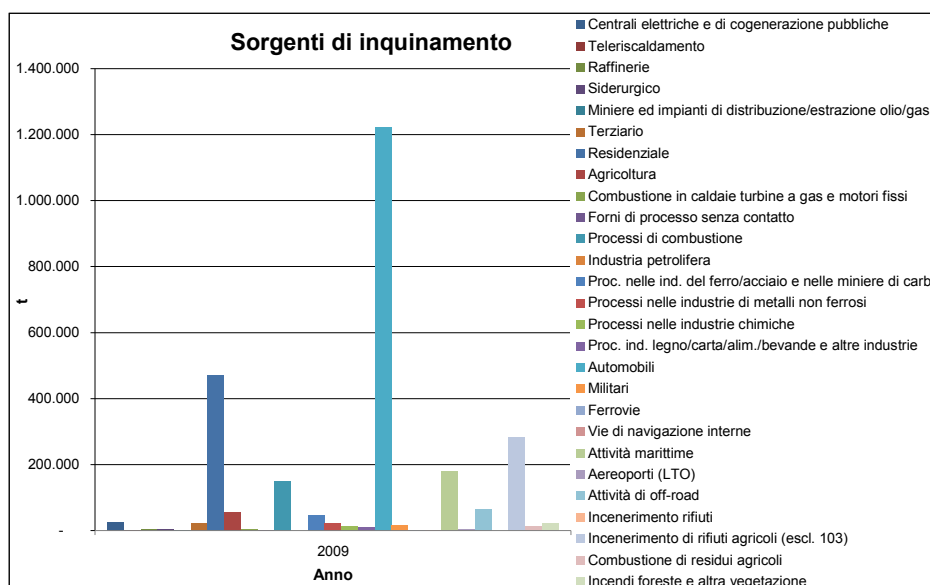


Figura 3.6: Sorgenti di inquinamento della specie CO (Fonte ISPRA).

3.4 Ozono

L'ozono, molecola triatomica di ossigeno, è un gas tossico di colore bluastro e dall'odore pungente che fa parte dei normali costituenti dell'aria. L'ozono è presente per più del 90% nella stratosfera dove viene prodotto a partire dall'ossigeno molecolare per azione dei raggi solari ultravioletti. In stratosfera costituisce una fascia protettiva nei confronti delle radiazioni UV generate dal sole. Nella troposfera è in genere presente in basse concentrazioni e rappresenta un inquinante secondario.

Una notevole quantità di ozono viene prodotta nel corso delle ossidazioni degli idrocarburi presenti nell'aria. La produzione di ozono da parte dell'uomo si origina a partire da molti inquinanti primari. Le principali sorgenti antropiche risultano essere il traffico veicolare, i processi di combustione, l'evaporazione dei carburanti, i solventi, cioè tutte quelle fonti che producono inquinanti precursori. I problemi di inquinamento dell'aria da ozono sono legati al significativo incremento che la concentrazione di questo gas subisce in zone immediatamente prossime al suolo a causa di fenomeni di formazione di smog fotochimico di cui esso è un importante costituente. Le cause dell'inquinamento da ozono sono quindi le stesse che provocano

l'esistenza dello smog fotochimico, ovvero l'emissione di idrocarburi e ossidi di azoto dovuta in buona parte ai mezzi di trasporto.

Per quanto riguarda l'ozono troposferico bisogna sottolineare che la concentrazione del gas varia anche di molto a seconda della zona geografica considerata, dell'ora, del periodo dell'anno, delle condizioni climatiche, della direzione e della velocità del vento. Nelle aree urbane i livelli massimi di concentrazione si verificano in genere verso mezzogiorno e sono preceduti, nelle prime ore del mattino, da concentrazioni massime di ossidi di azoto e di idrocarburi rilasciati da traffico veicolare intenso all'inizio della giornata. Le più alte concentrazioni di ozono si rilevano nei mesi più caldi dell'anno, in condizione di forte insolazione, di alta pressione e scarsa ventilazione, le quali favoriscono il ristagno e il loro accumulo.

La molecola di ozono è estremamente reattiva, in grado di ossidare numerosi componenti cellulari. A basse concentrazioni l'ozono provoca irritazione agli occhi ed alla gola; concentrazioni elevate causano irritazioni all'apparato respiratorio, tosse e un senso di oppressione al torace che rende difficoltosa la respirazione. Le persone più sensibili sono: i soggetti asmatici e quelli con patologie polmonari e cardiovascolari, gli anziani, le donne incinta, i bambini. L'ozono e gli ossidanti fotochimici in genere provocano una riduzione della crescita delle piante e, a maggiore concentrazione, clorosi e necrosi delle foglie, indicando questo gas come uno dei principali responsabili di significativi danni alla vegetazione.

L'ozono causa, inoltre, ingenti danni a materiali e monumenti, deteriorando il patrimonio artistico.

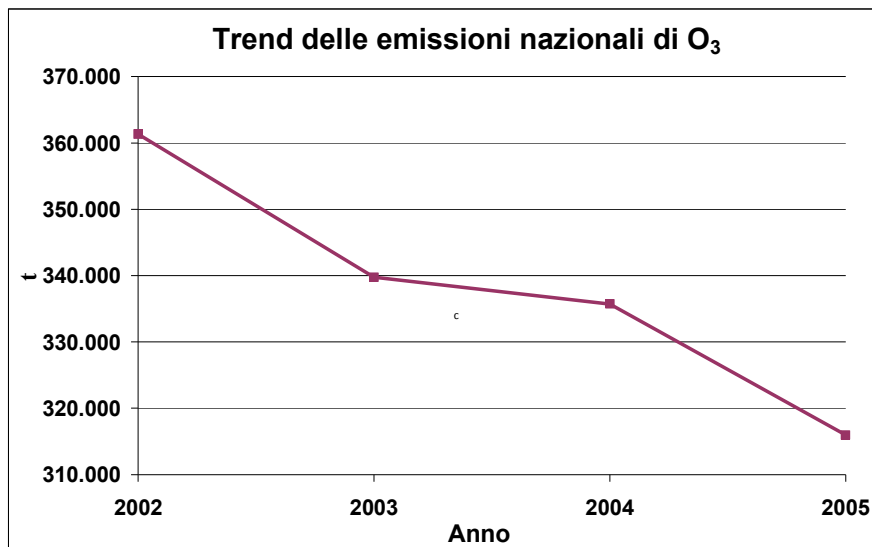


Figura 3.7: Andamento delle emissioni nazionali di Ozono (fonte APAT).

3.5 Particolato

Con il termine particolato (*particulate matter*, PM) o polveri totali sospese (PTS) si fa riferimento all'insieme di particelle disperse in atmosfera, solide e liquide, con diametro compreso tra qualche centinaia di nanometri (nm) e decine/centinaia di micrometri (10^{-6} m).

Il particolato nell'aria può essere costituito da diverse sostanze: sabbia, ceneri, polveri, fuliggine, sostanze silicee di varia natura, sostanze vegetali, composti metallici, composti di natura organica, fibre tessili naturali e artificiali, sali, ecc.

Il termine PM₁₀ identifica le particelle di diametro aerodinamico inferiore o uguale ai 10 µm. In generale il materiale particolato di queste dimensioni ha una natura chimica particolarmente complessa e variabile, è caratterizzato da lunghi tempi di permanenza in atmosfera e può, quindi, essere trasportato anche a grande distanza dal punto di emissione, ha una natura chimica particolarmente complessa e variabile. Il PM₁₀ può essere inalato e penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio umano, dal naso alla laringe e, quindi, avere effetti negativi sulla salute. La frazione più grossolana delle polveri si origina in genere da processi meccanici.

Il particolato PM₁₀, in parte, è emesso come tale direttamente dalle

sorgenti in atmosfera (PM₁₀ primario) e, in parte, si forma in atmosfera attraverso reazioni chimiche fra altre specie inquinanti (PM₁₀ secondario).

Il PM₁₀ può avere sia un'origine naturale (erosione dei venti sulle rocce, eruzioni vulcaniche, auto combustione di boschi e foreste), sia antropica (combustioni, fenomeni di risollevarimento, all'usura degli pneumatici, dei freni e del manto stradale e altro).

Tra le sorgenti antropiche un importante ruolo è rappresentato dal traffico veicolare. Di origine antropica sono anche molte delle sostanze gassose che contribuiscono alla formazione di PM₁₀, come gli ossidi di zolfo e di azoto, i COV (Composti Organici Volatili) e l'ammoniaca. Le polveri PM₁₀ possono rimanere in sospensione per 12 ore circa, mentre le particelle con diametro inferiore a 1 micron possono fluttuare anche per un mese.

Il PM_{2,5} è definito come il materiale particolato con un diametro aerodinamico medio inferiore a 2,5 micrometri. Esso costituisce mediamente il 60% del PM₁₀ ed è originato sia per emissione diretta (particelle primarie), che per reazione nell'atmosfera di composti chimici quali ossidi di azoto e zolfo, ammoniaca e composti organici (particelle secondarie). Il PM_{2,5} può essere respirato e spingersi nella parte più profonda dell'apparato, fino a raggiungere i bronchi. Le sorgenti del PM_{2,5} possono essere antropiche e naturali. Le fonti antropiche sono riconducibili principalmente ai processi di combustione quali: emissioni da traffico veicolare, utilizzo di combustibili (carbone, combustibili liquidi, legno, rifiuti, rifiuti agricoli), emissioni industriali (cementifici, fonderie, miniere). Le fonti naturali, invece, sono sostanzialmente: aerosol marino, suolo risollevarato e trasportato dal vento ecc.

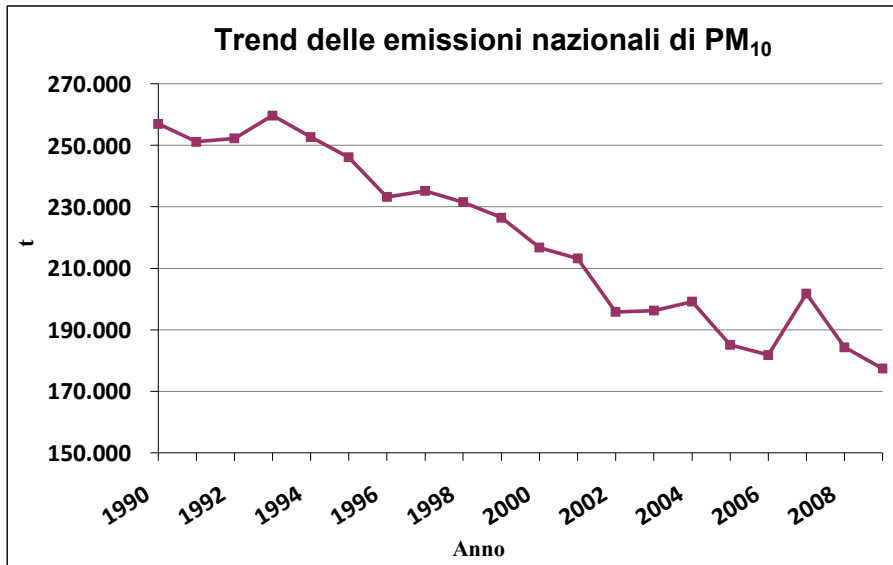


Figura 3.8: Serie storiche delle emissioni nazionali (SNAP 1990-2009).

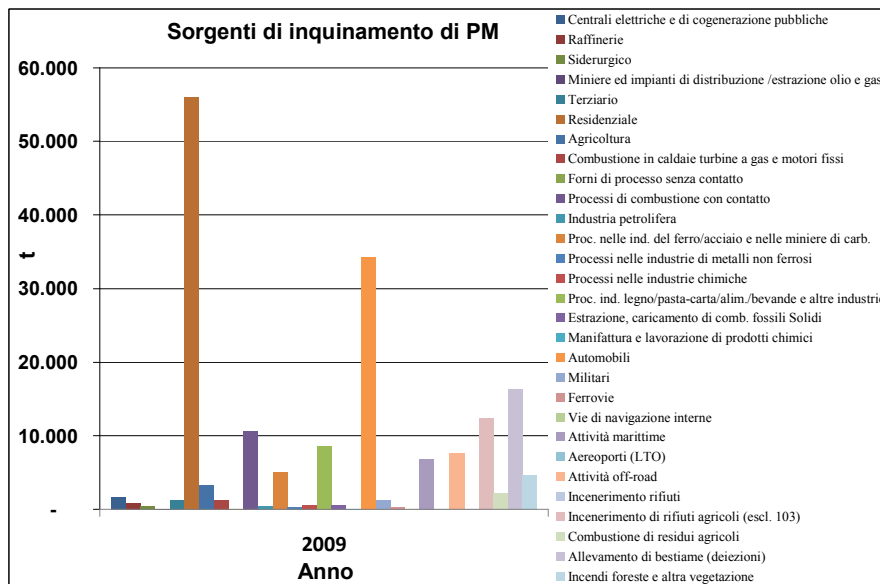


Figura 3.9: Sorgente di inquinante per il particolato (Fonte ISPRA).

3.6 Benzene

Il benzene (C₆H₆) è una sostanza chimica che appartiene alla famiglia degli idrocarburi aromatici; questo a temperatura ambiente, si presenta come un liquido incolore che evapora velocemente nell'aria ed è caratterizzato da un odore pungente e dolciastro.

Il benzene, poco solubile in acqua, evapora in aria molto velocemente ed ha origine sia da fonti naturali che antropiche. È un inquinante che si trova comunemente nell'aria, nell'acqua e nel suolo. Il benzene è

utilizzato a livello industriale per la produzione di diverse sostanze chimiche, come lo stirene (materie plastiche), cumene (resine), e cicloesano (nylon e fibre sintetiche). Il benzene è impiegato anche nella produzione di alcuni tipi di gomme, lubrificanti, coloranti, detergenti, farmaci e pesticidi.

Le sorgenti naturali di benzene contribuiscono alla sua presenza nell'ambiente in maniera esigua rispetto alle sorgenti antropogeniche e includono le emissioni dei vulcani e gli incendi boschivi. Livelli elevati di benzene nell'aria si hanno dalla combustione del carbone e del petrolio, dall'incenerimento dei rifiuti e dalle operazioni per il suo stoccaggio, dai gas di scarico dei veicoli a motore, e dall'evaporazione nelle stazioni di servizio di carburanti. Il fumo di tabacco è un'altra fonte di benzene nell'aria, soprattutto in ambienti indoor. Scarichi industriali, smaltimento di prodotti contenenti benzene, e perdite di benzina dai serbatoi di stoccaggio sotterranei rilasciano benzene nell'acqua e nel suolo, il quale può successivamente passare nell'aria. Una volta in atmosfera, il benzene può reagire con altre sostanze e degradarsi in pochi giorni.

L'esposizione al benzene avviene essenzialmente per inalazione (circa il 99% del benzene assunto), per contatto cutaneo o per ingestione.

Gli effetti tossici provocati da questo composto organico hanno caratteristiche diverse e colpiscono organi sostanzialmente differenti in base alla durata dell'esposizione. Una esposizione di breve durata a livelli molto alti di benzene nell'aria può provocare la morte. Livelli più bassi possono causare sonnolenza, vertigini, tachicardia, mal di testa, tremori, confusione e perdita di coscienza. L'esposizione a benzene in aria per lunghi periodi può avere effetti nocivi sulle cellule del sangue, in particolare sul midollo osseo e sulla diminuzione dei globuli rossi può portare ad anemia. L'eccessiva esposizione al benzene può essere dannosa per il sistema immunitario. Essa può aumentare la probabilità di infezione e abbassare le difese dell'organismo contro il cancro. L'esposizione al benzene a lungo

termine può provocare il cancro del sistema emopoietico provocando la leucemia mieloide acuta. L'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) indica il benzene come sostanza cancerogena per l'uomo.

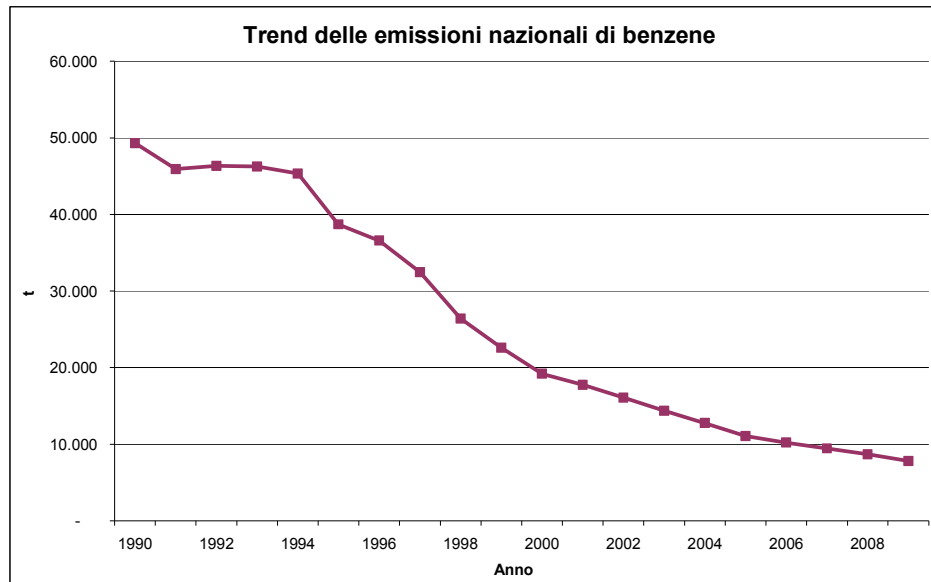


Figura 3.10: Serie storiche delle emissioni nazionali di benzene(SNAP 1990-2009).

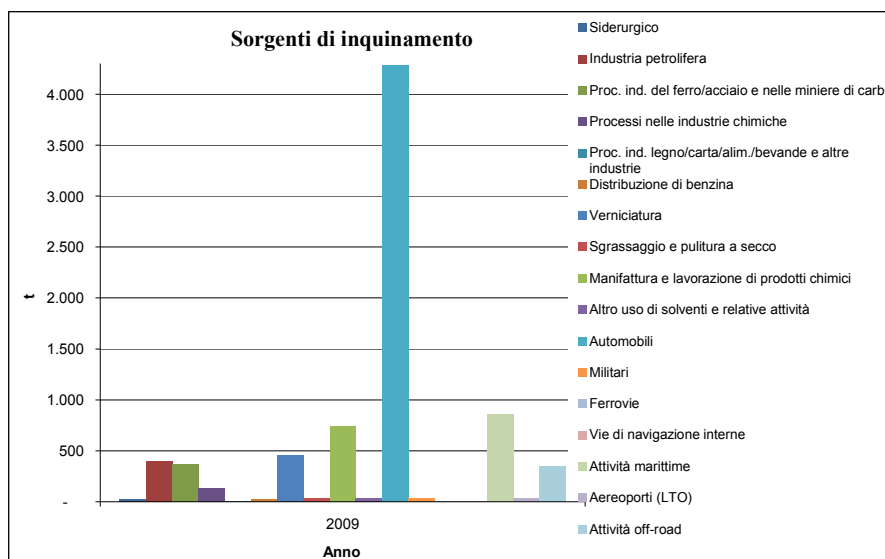


Figura 3.11: Sorgente di inquinante della specie benzene (Fonte ISPRA).

3.7 Idrocarburi Policiclici Aromatici

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) costituiscono un numeroso gruppo di composti organici (circa 500) formati da due o più anelli benzenici condensati. In generale si tratta di sostanze solide a

temperatura ambiente, scarsamente solubili in acqua, degradabili in presenza di radiazione ultravioletta e altamente liposolubili, presenti quindi nei tessuti viventi. Gli idrocarburi policiclici aromatici vengono utilizzati nei medicinali, nelle tinture, nelle materie plastiche e come pesticidi.

Sono contenuti nell'asfalto utilizzato per la costruzione di strade e contenuti nel carbone e nei prodotti petroliferi (particolarmente nel gasolio e negli oli combustibili). Possono trovarsi in aria, allo stato gassoso quelli costituiti da tre a cinque anelli o adsorbiti al particolato o allo stato solido quelli caratterizzati da cinque o più anelli nel suolo o nei sedimenti dei fiumi, laghi e mari. Gli idrocarburi aromatici sono da considerarsi degli inquinanti primari poiché agiscono direttamente e negativamente su varie componenti dell'ecosistema.

Gli IPA possono essere dannosi per la salute: alcuni degli IPA, tra cui benzo[a]pirene, benzo[a]antracene, benzo[b]fluorantene, benzo[j]fluorantene, benzo[k]fluorantene, crisene, dibenzo[a,h]antracene, e indeno[1,2,3-c,d]pirene, hanno causato tumori negli animali da laboratorio.

Studi su persone mostrano che gli individui esposti per inalazione o contatto epidermico a miscele che contengono idrocarburi policiclici aromatici e altri composti per lunghi periodi possono anche sviluppare il cancro. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha stabilito che il benzo[a]antracene e il benzo[a]pirene sono probabili cancerogeni per l'uomo, benzo[b]fluorantene, benzo[j]fluorantene, benzo[k]fluorantene, e indeno[1,2,3-c,d]pirene sono possibili cancerogeni per l'uomo, e antracene, benzo[g,h,i]perilene, benzo[e]pirene, crisene, fluorantene, fluorene, fenantrene e pirene non sono classificabili quanto alla loro cancerogenicità per l'uomo. Tra i numerosi idrocarburi policiclici aromatici il composto più studiato e rilevato è il benzo(a)pirene (BaP), caratterizzato da una struttura con cinque anelli aromatici condensati. È una delle prime sostanze delle quali si è accertata la cancerogenicità ed è stata, quindi, utilizzata come

indicatore dell'intera classe di composti policiclici aromatici. Il valore obiettivo per il benzo(a)pirene è 1 ng/m^3 (il valore obiettivo è riferito al tenore totale dell'inquinante presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile).

Le principali sorgenti naturali degli IPA sono soprattutto le emissioni dei vulcani, e gli incendi boschivi. Essi vengono emessi in atmosfera da attività antropiche come prodotti di combustioni incomplete in alcune attività industriali (cokerie, produzione e lavorazione della grafite, nel trattamento del carbon fossile) e nelle caldaie (soprattutto quelle alimentate con combustibili solidi e liquidi pesanti); inoltre sono presenti nelle emissioni degli autoveicoli (sia diesel, che benzina). Essi possono essere presenti nelle acque superficiali attraverso gli scarichi provenienti dagli impianti industriali e da impianti di trattamento delle acque, e possono essere rilasciati al suolo dallo sversamento dei contenitori di stoccaggio nei siti di rifiuti pericolosi. Il passaggio degli IPA nell'ambiente dipende dalla loro proprietà: ad esempio da come si dissolvono in acqua, e come facilmente evaporano nell'aria.

Gli IPA possono avere una più lunga durata in aria, perché prodotti per reazione di altre sostanze chimiche con la luce solare, in genere per un periodo di giorni o settimane. La ripartizione nel suolo e nell'acqua richiede generalmente settimane o mesi ed è causata principalmente dalle azioni di microrganismi. In generale l'emissione degli IPA nell'ambiente risulta molto variabile a seconda del tipo di sorgente, del tipo di combustibile e della qualità della combustione. La presenza di questi composti nei gas di scarico degli autoveicoli è dovuta sia alla frazione presente come tale nel carburante, sia alla frazione che per pirosintesi ha origine durante il processo di combustione.

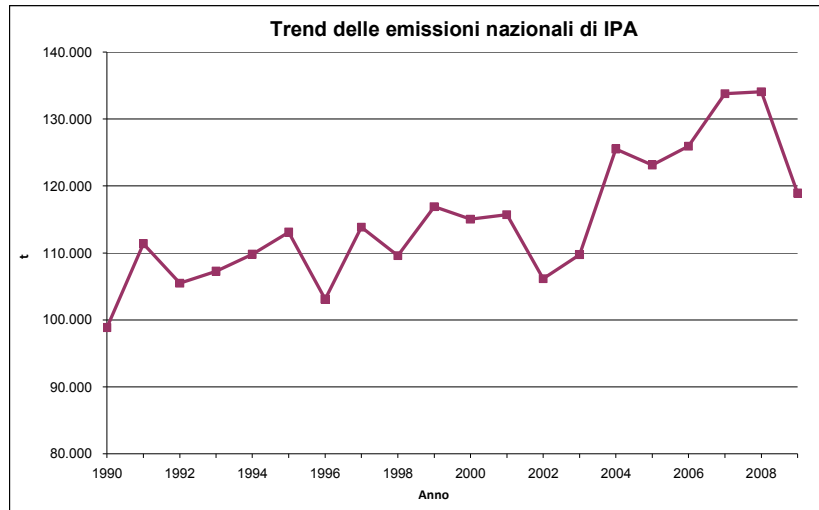


Figura 3.12: Serie storiche delle emissioni nazionali di IPA (SNAP 1990-2009).

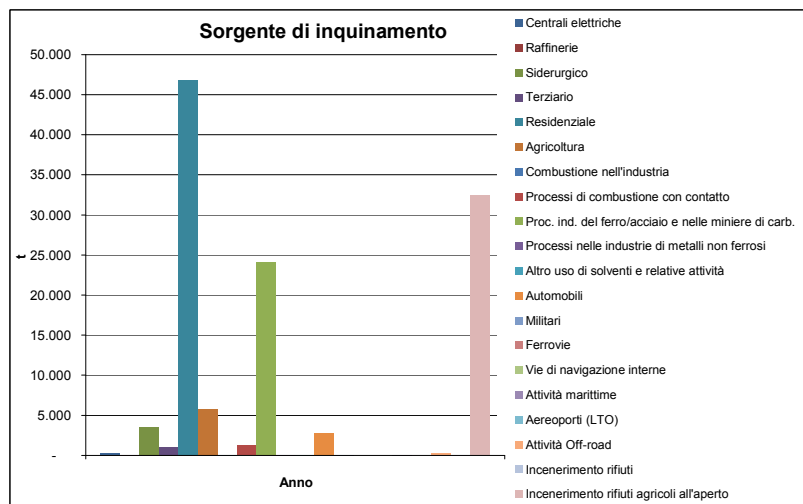


Figura 3.13: Sorgenti di inquinamento della specie IPA (Fonte ISPRA).

3.8 Metalli Pesanti

Per metalli pesanti si intendono convenzionalmente quei metalli che hanno una densità maggiore di 4,5 grammi a centimetro cubo. I metalli pesanti sono costituenti naturali della crosta terrestre, e molti metalli pesanti in determinate forme e a concentrazioni opportune sono essenziali alla vita. Una caratteristica che li rende pericolosi è la tendenza, che hanno in comune agli inquinanti organici persistenti, di accumularsi in alcuni tessuti degli esseri viventi (bioaccumulo) provocando effetti negativi alla salute umana e all'ambiente in generale.

Essi non sono tossici in basse concentrazioni. Nell'atmosfera le

sorgenti predominanti di origine antropica di metalli pesanti sono la combustione e i processi industriali. I metalli pesanti, come del resto gli inquinanti organici persistenti, in atmosfera si trovano prevalentemente nel particolato. Non possono essere degradati o distrutti. In piccola misura entrano nel nostro corpo attraverso il cibo, l'acqua e l'aria. Come elementi in tracce, alcuni metalli pesanti (per esempio: rame, selenio, zinco) sono essenziali per mantenere il metabolismo del corpo umano. Tuttavia, a concentrazioni più alte possono portare ad avvelenamento poiché tendono ad accumularsi nell'organismo.

Tra i metalli pesanti non considerati biologicamente essenziali e la cui presenza nella biosfera costituisce grave rischio potenziale si segnalano: Nichel, Cadmio, Piombo e Arsenico, successivamente analizzati in maniera singola.

3.9 Piombo

Il piombo è un metallo pesante di colore bianco-azzurrognolo che esposto all'aria si colora di grigio scuro. Gli effetti tossici per l'uomo più frequenti sono i danni al sistema nervoso e l'inibizione della sintesi dell'emoglobina. Le fonti antropiche derivano dalla combustione del carbone e dell'olio combustibile, dai processi di estrazione e lavorazione dei minerali che contengono Pb, dalle fonderie, dalle industrie ceramiche e dagli inceneritori di rifiuti. Fino agli anni ottanta il piombo tetraetile è stato un componente della benzina, usato come additivo con funzioni antidetonanti per aumentarne il numero di ottani; tale forma di utilizzo ha rappresentato e rappresenta la principale fonte di inquinamento atmosferico. Data la sua tossicità e la sua capacità di "avvelenare" i catalizzatori attualmente usati per ridurre l'inquinamento generato dagli scarichi delle automobili, è stato abbandonato in favore di altri additivi. I livelli di piombo nell'aria ambiente sono diminuite negli ultimi decenni: tra il 1990 e il 2003, le concentrazioni di piombo nell'aria in Europa sono diminuite del 50-70%. Diminuzioni simili sono stati osservati anche per le deposizioni

atmosferiche.

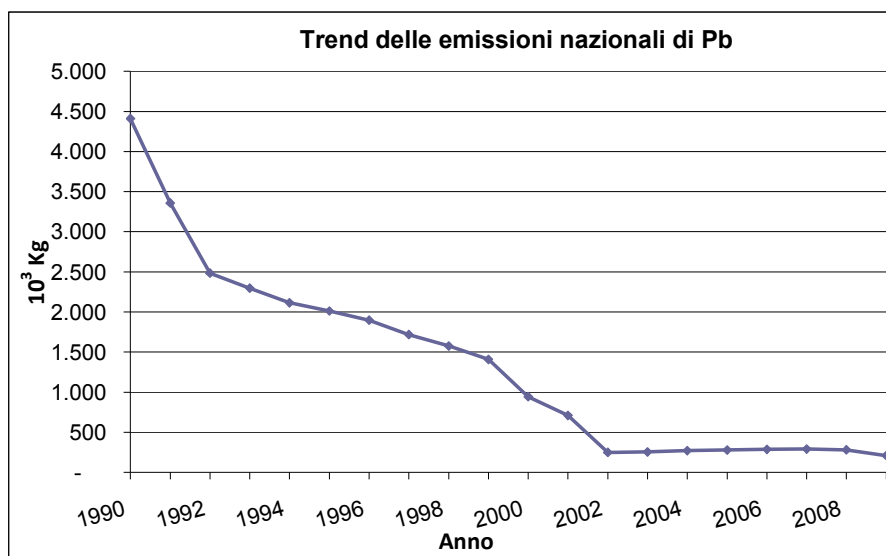


Figura 3.14: Serie storiche delle emissioni nazionali di piombo (SNAP 1990-2009).

3.10 Arsenico

L'arsenico è classificato chimicamente come un semimetallo, poiché possiede entrambe le proprietà di metallo e nonmetallo, tuttavia, è spesso indicato come metallo. L'arsenico elementare, anche indicato come arsenico metallico, (As^0) è un solido che si presenta in tre forme allotropiche: alfa, beta e gamma, rispettivamente di colore giallo, nero e grigio. L'arsenico è un elemento naturale ampiamente diffuso sulla crosta terrestre. Può presentare vari stati di ossidazione e ritrovarsi in natura in forme sia organiche che inorganiche. Si trova nell'ambiente solitamente combinato con altri elementi come l'ossigeno, il cloro e lo zolfo. L'arsenico in combinazione con questi elementi è di tipo inorganico mentre combinato con carbonio e idrogeno viene indicato come arsenico organico. Bassi livelli di arsenico inorganico in acqua possono provocare l'irritazione dello stomaco e dell'intestino, con sintomi quali mal di stomaco, nausea, vomito e diarrea. Altri effetti potrebbero verificarsi in caso di ingestione di arsenico inorganico con diminuzione della produzione di globuli rossi e bianchi, con affaticamento, ritmo cardiaco anormale, e danni dei vasi sanguigni con conseguente ematoma. Nell'ingestione di arsenico è stato segnalato il

rischio di cancro del fegato, della vescica e polmoni. Alti livelli di arsenico inorganico nell'aria provocano mal di gola e irritazione dei polmoni. Lunga esposizione a basse concentrazioni possono portare a effetti sulla pelle.

I lavoratori esposti ad arsenico in fonderie, miniere e fabbriche chimiche, e i residenti nei pressi di fonderie, fabbriche chimiche e discariche di rifiuti possono avere un aumentato rischio di cancro ai polmoni. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha stabilito che l'arsenico inorganico è cancerogeno per l'uomo. Le informazioni sugli effetti di composti organici dell'arsenico sull'uomo non sono ancora disponibili.

L'arsenico si trova nell'ambiente a causa della simultanea azione di fattori naturali ed antropici. La presenza di questo inquinante dovuta alla sua naturale mobilizzazione provoca la maggior parte dei problemi nei diversi comparti ambientali. Le attività antropiche hanno contribuito, in modo non trascurabile, ad incrementare l'inquinamento da arsenico di suoli ed acque. Le cause naturali sono da ricercarsi principalmente nei processi di pedogenesi, nell'attività biologica e vulcanica. Le attività antropiche responsabili dell'accumulo di arsenico nell'ambiente sono rappresentate, invece, dall'attività mineraria e di fusione di metalli, dalla combustione di rifiuti, dalla produzione di energia con combustibili fossili, quali carbone o petrolio, dall'applicazione di insetticidi, erbicidi e fungicidi a base di arsenico, di fertilizzanti e di prodotti per la protezione del legno. Nonostante molti prodotti a base di arsenico siano stati banditi nelle ultime decenni (pesticidi, erbicidi), alcuni di questi vengono ancora oggi impiegati, ad esempio per proteggere il legno dall'attacco di parassiti. L'impatto sull'ambiente derivante dal largo uso fatto, soprattutto in passato, di tali composti permarrà negli anni. L'arsenico è presente nell'atmosfera attraverso l'erosione del suolo esercitata dal vento, le emissioni vulcaniche, lo spray marino, l'inquinamento antropico, e ritorna sulla superficie della Terra attraverso deposizioni umide e secche.

L'arsenico atmosferico consiste principalmente di As_2O_3 in forma particolata. Nell'aria, l'arsenico è presente prevalentemente adsorbito come arsenito e arseniato su particolato, mentre le specie organiche sono di scarsa importanza ad eccezione di quelle aree caratterizzate dall'uso di pesticidi a base dell'elemento tossico.

3.11 Cadmio

Il Cadmio è un metallo bivalente dall'aspetto argenteo con riflessi azzurrognoli. Appartiene allo stesso gruppo del mercurio e dello zinco ed è simile per molti aspetti a quest'ultimo con la peculiarità di creare composti più complessi.

Presente nei minerali dello zinco, circa il 75% della quantità di cadmio prodotta viene usata nelle pile al nichel-cadmio, mentre l'altro 25% è principalmente usato per produrre pigmenti, rivestimenti, stabilizzanti per materie plastiche e leghe metalliche. Il cadmio è immesso direttamente nell'atmosfera dalle industrie che lo utilizzano in svariati processi produttivi e dagli impianti di incenerimento. Essendo contenuto negli oli e nei lubrificanti viene prodotto in seguito alla combustione dovuta al traffico veicolare. Il cadmio non riveste alcun ruolo biologico nel corpo umano ed è tossico a basse concentrazioni, così come i suoi composti, e tende ad accumularsi negli organismi e negli ecosistemi.

L'esposizione ambientale al cadmio ha come organi bersaglio reni e ossa. I principali effetti critici comprendono aumentata escrezione di proteine a basso peso molecolare nelle urine e un aumentato rischio di osteoporosi. L'inalazione di polveri di cadmio provoca rapidamente problemi alle vie respiratorie e ai reni, spesso fatali per insufficienza renale. L'ingestione provoca immediato avvelenamento e danneggia il fegato e i reni. I composti del cadmio sono cancerogeni.

I gruppi di popolazione più a rischio sono gli anziani, le persone con diabete, e i fumatori. Le donne possono essere a rischio poiché hanno bassi livelli di ferro rispetto agli uomini e, di conseguenza, assorbono

più cadmio allo stesso livello di esposizione.

Il cibo è la principale fonte di esposizione al cadmio nella popolazione generale (che rappresenta > 90% del consumo totale nei non fumatori). In aree fortemente contaminate, la risospensione di polvere può costituire una parte sostanziale della contaminazione delle colture e l'esposizione per inalazione e la digestione.

L'inquinamento atmosferico transfrontaliero (LRTAP - Long-Range Transboundary Air Pollution) e i concimi minerali e organici continuano a contribuire nella stessa entità all'accumulo di cadmio nei suoli. Nonostante la diminuzione delle emissioni di cadmio, delle concentrazioni nell'aria ambiente e nelle deposizioni atmosferiche, i dati pubblicati non mostrano una diminuzione del cadmio nei soggetti non fumatori negli ultimi dieci anni. Studi dimostrano che nel bilancio del cadmio, la concentrazione di tale metallo negli strati superiori del terreno in ingresso supera ancora la sua rimozione. Il cadmio si accumula nel suolo e nei bacini in determinate condizioni ambientali, aumentando così il rischio di futura esposizione attraverso il cibo. Anche se il suo utilizzo è in diminuzione per via di rigide limitazioni normative, tale sostanza è relativamente diffusa nell'ambiente per i passati utilizzi e per la conseguente presenza, anche se in piccole quantità, in rifiuti, scarichi industriali ed emissioni.

Essendo comunque ristretto il margine di sicurezza, ulteriori riduzioni in materia di emissioni di cadmio in atmosfera e altri tipi di immissione del cadmio nel suolo sono auspicabili.

3.12 Nichel

Il nichel è un metallo duro bianco-argenteo, con proprietà tali che permettono la sua combinazione con altri metalli per formare leghe. Alcuni dei metalli con i quali il nichel si può legare sono ferro, rame, cromo, e zinco. Molti di questi composti sono solubili in acqua e hanno un caratteristico colore verde. Queste leghe sono usate per la produzione di monete e gioielli e nell'industria per la produzione di

valvole e scambiatori di calore. I composti del nichel sono usati per la nichelatura, per colorare ceramica, per fare alcune batterie, e come catalizzatori.

Nell'ambiente, si trova principalmente combinato con l'ossigeno o ossidi di zolfo o solfuri. Il nichel si trova anche nei resti di meteoriti e sul fondo dell'oceano. Il nucleo della terra è composto dal 6% di nichel. La principale fonte naturale in atmosfera è l'emissione dai vulcani.

Il nichel è rilasciato nell'ambiente atmosferico a bassi livelli come il risultato del rilascio della combustione di oli e carbone, la raffinazione del nichel metallico, l'incenerimento dei fanghi, le produzioni manifatturiere e altre sorgenti come nafta, acciaio e leghe. Il nichel viene rilasciato nell'ambiente da grandi impianti di combustione utilizzati per realizzare leghe o dalle centrali elettriche e dagli inceneritori di rifiuti. Il nichel che esce dai camini delle centrali viene adsorbito su particelle di polvere che si depositano al suolo o sono lavate in caso di deposizioni. La sua rimozione dall'aria richiede solitamente molti giorni.

Le maggiori concentrazioni di questo metallo si trovano in aria, nel suolo, nei sedimenti. Il nichel può esistere sia disciolto in acqua o sul materiale sospeso in acqua e nelle acque di scarico.

Questa sostanza è introdotta nell'organismo durante la respirazione quando si beve acqua, attraverso il cibo e per contatto cutaneo. Il nickel entrato nell'organismo, può raggiungere tutti gli organi, ma colpisce soprattutto i reni. Il più comune effetto dannoso sulla salute negli esseri umani è la reazione allergica per contatto diretto e prolungato con la pelle. Gli effetti più gravi e nocivi per la salute da esposizione al nichel, come bronchite cronica, ridotta funzionalità polmonare, e il cancro del polmone e del seno nasale, si sono verificati in persone che hanno respirato polveri contenenti determinati composti del nichel nelle raffinerie di nichel. L'esposizione ad alti livelli dei composti solubili di nichel può anche causare tumori, quando i

composti di nichel meno solubile sono presenti, o quando sono presenti altre sostanze chimiche che possono produrre cancro.

L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha fissato come cancerogeni alcuni composti del nichel per gli esseri umani e che il nichel metallico può eventualmente essere cancerogeno per l'uomo. Queste classificazione di cancerogenicità è stata stabilita sulla base di studi degli effetti del nichel su lavoratori e animali da laboratorio.

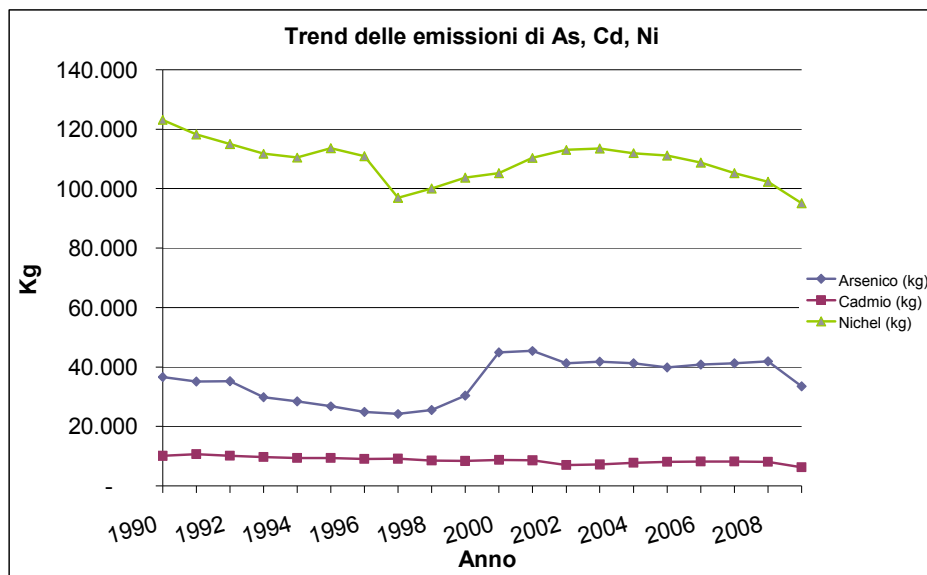


Figura 3.15: Serie storiche delle emissioni nazionali di Arsenico, Cadmio e Nichel (SNAP 1990-2009).

3.13 Mercurio

Il mercurio è un elemento presente naturalmente nell'ambiente ed esiste nelle forme di mercurio metallico (o mercurio elementare), mercurio inorganico e mercurio organico. Il mercurio metallico, elemento lucido bianco argenteo, liquido a temperatura ambiente è la forma elementare (non combinato con altri elementi). A temperatura ambiente, evapora e forma vapori di mercurio incolori e inodori. I composti di mercurio inorganici (sali di mercurio) vengono prodotti quando il mercurio si combina con elementi quali cloro, zolfo o ossigeno.

Tra i composti organici del mercurio, il più diffuso nell'ambiente è il metilmercurio (o monometilmercurio), mentre il dimetilmercurio,

composto tossico per persone e animali, è l'unico composto di mercurio organico che è stato identificato in siti di rifiuti pericolosi. Tra le diverse forme di mercurio presenti naturalmente nell'ambiente le più comuni sono il mercurio metallico, il solfuro di mercurio, il cloruro di mercurio e il metilmercurio. Alcuni microrganismi (batteri, funghi, fitoplancton negli oceani) attraverso processi naturali metabolizzano il mercurio elementare modificandolo in metilmercurio; questo entra nella catena alimentare e si bioaccumula negli organismi viventi.

Il mercurio metallico viene utilizzato nella produzione di cloro gassoso e di soda caustica, nell'estrazione dell'oro, è stato anche usato nei termometri, barometri, batterie, interruttori elettrici e per le otturazioni dentali. Il mercurio entra nell'ambiente come risultato della disgregazione dei minerali in rocce e suolo per esposizione al vento e all'acqua, e da attività vulcanica. Le emissioni da fonti naturali sono rimaste relativamente costanti nella storia recente, con un costante aumento del mercurio ambientale.

Le attività umane come l'estrazione mineraria e la combustione di combustibili fossili hanno portato ad un rilascio aggiuntivo di tale sostanza nell'ambiente. Il mercurio emesso in atmosfera proviene principalmente dall'estrazione mineraria, dalle emissioni di centrali termoelettriche, dalla combustione di rifiuti urbani e sanitari, dalla produzione di cemento, e da emissioni incontrollate di impianti industriali. Le concentrazioni in atmosfera sono molto basse e non costituiscono un rischio per la salute, tuttavia, il rilascio costante ha portato a livelli da tre a sei volte superiori ai livelli stimati in atmosfera dell'era preindustriale. Circa l'80% del mercurio rilasciato in atmosfera da attività umane è mercurio elementare. Circa il 15% del totale viene rilasciato al suolo da fertilizzanti, anticrittogamici e rifiuti solidi urbani ed un ulteriore 5% viene rilasciato dalle acque reflue industriali. In aria, i vapori di mercurio possono dare origine ad altre forme di mercurio, ed essere ulteriormente trasportate in acqua e suolo, o lavate con pioggia o neve.

Il metilmercurio, e ad altri composti organici così come i vapori di mercurio metallico, sviluppano danni permanenti al sistema nervoso centrale e ai reni. Esposizioni di breve durata ad alti livelli di vapori di mercurio metallico in aria possono danneggiare la mucosa della bocca e irritare i polmoni e le vie respiratorie. Esistono ancora poche informazioni sugli effetti negli esseri umani di lunga durata, basso livello di esposizione al mercurio inorganico. Animali da laboratorio ai quali è stato somministrato il mercurio organico (metilmercurio o fenilmercurio) hanno presentato un'aumentata incidenza di cancro del rene. Questi studi su animali forniscono solo informazioni limitate sul fatto che il mercurio provoca il cancro negli esseri umani. L'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) non classifica il mercurio in merito alla sua cancerogenicità umana. L'Environmental Protection Agency (EPA) ha stabilito che il cloruro di mercurio e il metilmercurio sono possibili cancerogeni umani.

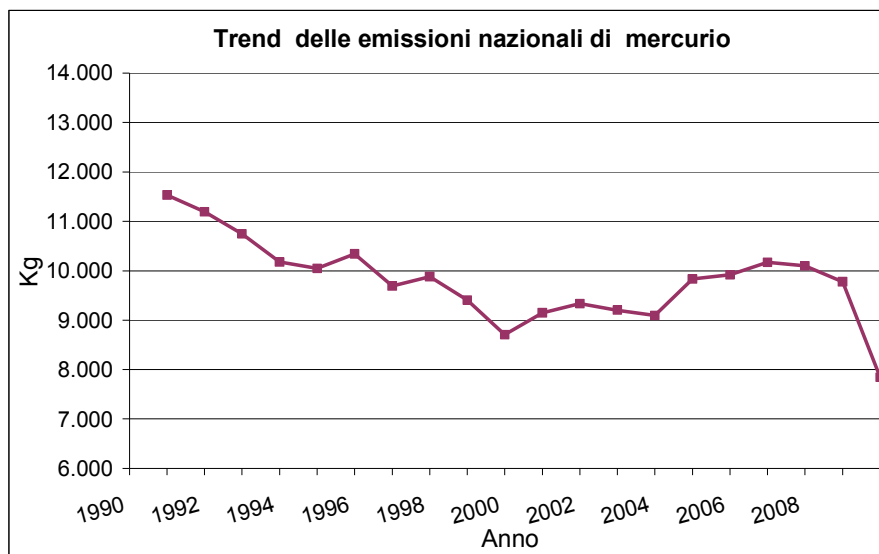


Figura 3.16: Serie storiche delle emissioni nazionali di mercurio (SNAP 1990-2009).

Capitolo 4

Metodologie per il monitoraggio atmosferico

4.1 Tecnologie di riferimento certificate per il campionamento ed il monitoraggio degli inquinanti atmosferici in situ

Il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, come già anticipato nel cap. 1, si effettua mediante reti di centraline certificate per il rilevamento delle concentrazioni di inquinanti.

Le centraline sono costituite da cabine a postazione fissa o mobile e sono dislocate in punti strategici del territorio in funzione delle dimensioni del centro urbano e/o della tipologia e quantità delle attività industriali presenti nell'area oggetto del monitoraggio, secondo quanto definito dalla normativa di riferimento discussa nel capitolo primo. Gli strumenti di misura sono collegati in rete per l'acquisizione e la registrazione delle concentrazioni dei singoli inquinanti ed il controllo degli strumenti stessi.

Le stazioni di campionamento, in cui sono alloggiati gli analizzatori degli inquinanti atmosferici, si compongono di una struttura base, della strumentazione di misura e delle apparecchiature per la visualizzazione, l'elaborazione e la trasmissione dei valori relativi ai parametri misurati.

La caratteristica principale degli analizzatori degli inquinanti atmosferici è quella di determinare, in modo automatico e continuo sulle 24 ore, la misura della sostanza in esame con elevata sensibilità, anche quando presente in basse concentrazioni o in traccia. Gli strumenti utilizzati devono essere realizzati in maniera tale da possedere l'autosufficienza necessaria per limitare al massimo gli interventi di manutenzione; anche la calibrazione, il controllo periodico del funzionamento strumentale, nonché le verifiche sui

possibili segnali di errori devono avvenire in modo automatico limitando il più possibile l'intervento dell'operatore.

Le normative vigenti disciplinano, per ciascun inquinante, lo specifico metodo di riferimento per la misurazione, il principio chimico-fisico di misura e le modalità di funzionamento della strumentazione utilizzata per il monitoraggio nonché la risoluzione temporale da utilizzare.

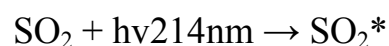
4.2 Metodologie e strumentazioni per la misura dell'ossido di zolfo

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per la misurazione del biossido di zolfo è descritto nella norma UNI EN 14212:2005 “Qualità dell’aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di zolfo mediante fluorescenza ultravioletta”.

Principio di misura: fluorescenza.

Modalità di funzionamento: la fluorescenza si verifica quando l’anidride solforosa è eccitata dalla luce ultravioletta con lunghezze d'onda comprese nella gamma di 190-230 nm. Questa reazione è composta di due fasi.

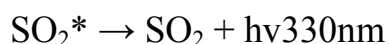
La prima avviene quando le molecole di SO₂ vengono colpite dai fotoni alla lunghezza d'onda ultravioletta opportuna. Un filtro passa banda inserito fra la sorgente di luce ultravioletta ed il gas limita la lunghezza d'onda della luce a circa 214 nm. Le molecole di SO₂ quindi assorbono parte dell'energia proveniente dalla luce ultravioletta che obbliga gli elettroni di ciascuna delle molecole coinvolte a muoversi verso uno stato orbitale a maggiore energia. La reazione che governa questa prima fase è la seguente:



La quantità di SO₂ convertita in SO₂* eccitato (identificato con l’asterisco), dipende dall'intensità media della luce ultravioletta e non dalla sua intensità di picco perché l'intensità di tale luce non è costante in ogni parte della camera. Alcuni dei fotoni sono assorbiti dall’SO₂

mentre la luce passa attraverso il gas campione.

La seconda fase di questa reazione avviene dopo che l'SO₂ ha raggiunto la sua condizione eccitata. Poiché il sistema cercherà lo stato stabile ad energia più bassa, la molecola SO₂* ritorna rapidamente nel suo stato di riposo fornendo l'energia eccedente sotto forma di un fotone (hv). La lunghezza d'onda di questa luce fluorescente è sempre nella banda ultravioletta ma ad una lunghezza d'onda maggiore (energia più bassa) centrata attorno ai 330nm.



La quantità di luce rilevabile estratta dal decadimento di SO₂*, che può essere rilevata da un tubo fotomoltiplicatore (PMT), dipende dalla velocità con cui questa reazione avviene e dalla temperatura del gas. Più caldo è il gas, più velocemente le molecole decadono nuovamente nel loro stato di riposo e più fotoni di luce ultravioletta vengono emessi per unità di tempo. Per determinare la concentrazione di SO₂ basta considerare la quantità di luce fluorescente emessa in quanto queste due quantità sono direttamente proporzionali fra loro.

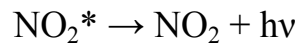
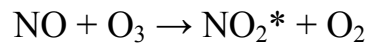
Altre specie chimiche, oltre al biossido di zolfo, producono in tali condizioni una radiazione fluorescente. I principali interferenti sono rappresentati dagli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), dagli idrocarburi polinucleari (PNA) come lo xilene e il naftalene, e dall'ossido di azoto: per questo motivo risulta di fondamentale importanza eliminare l'effetto di una loro eventuale presenza.

4.3 Metodologie e strumentazione per la misura degli ossidi di azoto

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14211:2005 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di azoto e monossido di azoto mediante chemiluminescenza".

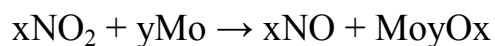
Principio di misura: chemiluminescenza.

Modalità di funzionamento: il principio della chemiluminescenza si basa sulla reazione in fase gassosa tra monossido di azoto e ozono la quale genera una luminescenza caratteristica di intensità linearmente proporzionale alla concentrazione di NO, secondo le seguenti reazioni:



Questa reazione è costituita da due fasi. Nella prima fase, una molecola di NO ed una molecola di O₃ si scontrano e reagiscono chimicamente per produrre una molecola di ossigeno (O₂) ed una molecola di diossido di azoto. Parte di NO₂ mantiene una determinata quantità di energia in eccesso proveniente dallo scontro e quindi rimane in uno stato di eccitazione, il che significa che uno degli elettroni della molecola NO₂ ha uno stato di energia più alta del normale (rappresentato da asterisco nella reazione). La termodinamica richiede che i sistemi cerchino la condizione di energia stabile più bassa, quindi, la molecola di NO₂ ritorna rapidamente al suo stato di quiete in una fase successiva, liberando l'energia eccedente sotto forma di un quantum di luce (hν) con lunghezze d'onda comprese fra 600 e 3000 nm, con un picco a circa 1200 nm. Quando tutto si mantiene costante, il rapporto fra la quantità di NO presente nella cella di reazione e la quantità di luce emessa dalla reazione è abbastanza lineare. Un quantitativo maggiore di NO produce più luce che può essere misurata con un sensore reattivo alla luce nello spettro vicino all'infrarosso.

L'unico gas che può essere misurato in modo corretto è l'NO. Infatti l'NO₂ contenuto nel gas non è rilevato nel processo sopra descritto poiché questo non reagisce con l'O₃ per subire l'effetto della chemiluminescenza. Per questo motivo, il biossido di azoto deve essere trasformato in monossido prima di poter essere misurato con il metodo della chemiluminescenza. A tale scopo, viene utilizzato un convertitore al molibdeno riscaldato a 315° C, capace di convertire l'NO₂ in NO in base alla reazione:



Una volta che l'NO₂ nel gas campione è stato convertito in NO, viene diretto nella cella di reazione in cui subisce la reazione di chemiluminescenza precedentemente descritta.

4.4 Metodologie e strumentazione per la misura dell'ossido di carbonio

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14626:2005 “Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di monossido di carbonio mediante spettroscopia a raggi infrarossi non dispersiva”.

Principio di misura: assorbimento infrarosso.

Modalità di funzionamento: il principio fondamentale su cui si basa è descritto dalla legge di Lambert – Beer. La tecnica di misurazione prevede l'utilizzo di radiazione IR con intensità nota (misurata durante la calibrazione dello strumento). La radiazione è diretta attraverso una cella multi-pass riempita di gas campione. La cella campione usa degli specchi ai due estremi per riflettere avanti e indietro il fascio IR attraverso il gas campione per generare un percorso di assorbimento di lunghezza nota (la lunghezza viene scelta in modo tale da garantire la massima sensibilità dell'analizzatore rispetto ad eventuali fluttuazioni della densità del CO).

All'uscita dalla cella, il fascio attraversa un filtro passa banda che fa passare solo la luce a una lunghezza d'onda di 4,7 μm. Infine, il fascio colpisce un fotorilevatore allo stato solido che converte la luce in un segnale modulato in tensione che rappresenta l'intensità attenuata del fascio.

Purtroppo anche altri gas, diversi dal monossido di carbonio, assorbono la luce alla lunghezza d'onda di 4,7 μm. Fra questi ci sono l'acqua e il diossido di carbonio, entrambi molto più comuni del CO, che possono generare problemi di interferenza. Per superare i relativi effetti di interferenza di questi e altri gas, viene impiegato un

dispositivo chiamato ruota di correlazione con filtro a gas; costituito da una ruota divisa in due mezzelune: una contiene azoto e l'altra una miscela di CO in azoto a concentrazione nota. Nella camera di misura, facendo girare tale ruota con una certa frequenza, i raggi IR passano alternativamente nelle due mezze lune arrivando poi al detector. Dalla differenza dei segnali e la successiva elaborazione si ottiene quindi la sola misura del CO, eliminando le interferenze e consentendo inoltre una elevata sensibilità.

4.5 Metodologie e strumentazione per la misura dell'ozono

Norma tecnica di riferimento: Il metodo di riferimento per la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14625:2005 "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di ozono mediante fotometria ultravioletta".

Principio di misura: assorbimento ultravioletto.

Modalità di funzionamento: l'analizzatore di ozono sfrutta l'assorbimento di questo gas nell'UV a $\lambda=254$ nm e il valore della concentrazione di O₃ è calcolato mediante l'applicazione della legge di Lambert - Beer. Il calcolo richiede una condizione di riferimento, che l'analizzatore garantisce grazie ad uno "scrubber", che ha la funzione di rimuovere l'O₃ presente nel campione e fornire quindi tale riferimento. Una valvola di commutazione alterna la modalità operativa dell'analizzatore tra fase di misura e fase di riferimento. Lo scrubber impiegato è selettivo per l'ozono: in tal modo, si ottengono misure di O₃ affidabili, non influenzate da interferenti. La misura di O₃ è soggetta a interferenza di un certo numero di composti come SO₂, NO₂, NO, H₂O, vapori di mercurio ed idrocarburi aromatici come il meta xilene. L'aria ambiente tal quale ed aria ambiente preventivamente fatta passare attraverso un filtro selettivo per l'ozono entrano in modo alternato nella cella di misura. La lampada UV, in grado di emettere alla lunghezza d'onda appropriata, permette che la radiazione venga assorbita dalle molecole di ozono, causando una diminuzione di intensità che viene registrata da un detector. Lo

strumento determina la concentrazione in aria ambiente dall'alternanza delle misure in presenza o assenza di ozono.

4.6 Metodologie e strumentazione per la misura del benzene

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14662:2005, parti 1, 2 e 3, "Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di benzene".

Principio di misura: gascromatografia.

Modalità di funzionamento: la norma UNI EN 14662:2005, parte 1 fornisce le linee guida per il campionamento e l'analisi del benzene in aria mediante campionamento per pompaggio, desorbimento termico e gascromatografia capillare. La norma è in conformità con la metodologia generale selezionata dall'Unione Europea per la determinazione del benzene in aria ambiente allo scopo di confrontare i risultati con i valori limite in un periodo di riferimento di un anno. Un volume misurato di campione di aria viene aspirato attraverso un tubo assorbente (EN-ISO 16017-1). Vengono scelte condizioni adatte a trattenere sul sistema assorbente il benzene, il quale viene in seguito rimosso. I vapori raccolti (su ciascun tubo) vengono desorbiti termicamente e trasferiti utilizzando un gas di trasporto in un gas cromatografo munito di colonna capillare per poi essere rilevati con un detector a ionizzazione di fiamma (FID), o uno spettrometro di massa (MS) o un altro rivelatore idoneo.

La norma UNI EN 14662:2005, parte 2 fornisce le linee guida per il campionamento e l'analisi del benzene in aria mediante pompaggio seguito da desorbimento con solvente e gascromatografia. Un volume misurato di aria campione viene prelevato attraverso un tubo di carbone attivo assorbente. Per il campionamento, vengono scelte condizioni idonee in maniera tale che il benzene venga trattenuto dal sistema assorbente. I vapori collezionati vengono desorbiti con solfuro di carbonio e viene effettuata l'analisi con un gas cromatografo munito

di una colonna capillare ed un rivelatore a ionizzazione di fiamma o altro rivelatore idoneo.

La norma UNI EN 14662:2005, parte 3, fornisce le linee guida per il campionamento e l'analisi del benzene in aria mediante pompaggio automatizzato con gascromatografia in situ. Un volume di aria campione viene prelevato attraverso un tubo assorbente. Condizioni assorbenti adatte vengono scelte per permettere che il benzene venga trattenuto dal tubo assorbente e quindi essere poi rimosso da un flusso d'aria.

Il benzene raccolto (su ciascun tubo) viene desorbito termicamente e trasferito dal gas di trasporto inerte in un gas cromatografo munito di una colonna capillare ed un rivelatore a ionizzazione di fiamma o altro idoneo rivelatore, dove si effettua l'analisi. Prima di entrare nella colonna il campione viene concentrato su una trappola criogenica, la quale subisce in seguito un riscaldamento per poter rilasciare il campione nella colonna, oppure su una pre-colonna, con la quale è possibile rimuovere idrocarburi aventi punti di ebollizione superiori con flush back. Due tipologie di strumenti sono utilizzati. Uno è dotato di una singola trappola di campionamento e l'altro è dotato invece di due o più trappole. Lo strumento a singola trappola campiona per una sola parte del tempo in ogni ciclo mentre gli strumenti multitrappole campionano in continuo. Un ciclo tipico di campionamento può variare tra i 15 minuti e 1 ora.

La norma UNI EN 14662:2005, parte 4 fornisce le linee guida per il campionamento diffusivo e l'analisi del benzene in aria con desorbimento termico e gascromatografia.

Il campionatore diffusivo viene esposto all'aria ambiente per un periodo di tempo misurato, secondo la EN ISO 16017-2. La velocità di campionamento è determinata mediante taratura in un ambiente standard. I vapori di benzene migrano lungo il dispositivo di diffusione e vengono raccolti sul sistema assorbente. I vapori collezionati (su ciascun tubo) sono desorbiti termicamente e trasferiti con un gas di

trasporto inerte in un gas cromatografo munito di una colonna capillare ed un rivelatore a ionizzazione di fiamma o altro idoneo rivelatore, dove vengono analizzati. La teoria delle prestazioni dei campionatori diffusivi è data anche in EN 13528-3. L'intervallo di un tipico periodo di campionamento varia in genere da un minimo di 1 settimana ad un massimo di un mese.

La norma UNI EN 14662:2005, parte 5 fornisce le linee guida per il campionamento diffusivo del benzene in aria ambiente seguito da desorbimento con solvente e gascromatografia.

Per diffusione i vapori di benzene migrano nel campionatore e vengono raccolti su un sistema assorbente, normalmente carbone attivato. I vapori collezionati vengono desorbiti utilizzando un opportuno solvente, normalmente solfuro di carbonio, e l'estratto viene analizzato con un gascromatografo con rivelatore a ionizzazione di fiamma, o uno spettrometro di massa o altro rivelatore selettivo.

4.7 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del PM₁₀

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 12341:2001 "Qualità dell'aria. Determinazione del particolato in sospensione PM₁₀. Metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto ai metodi di riferimento"

Principio di misura: gravimetrico.

Modalità di funzionamento: il metodo di misurazione di riferimento deve consistere nell'impiego di un orifizio d'ingresso PM₁₀ direttamente accoppiato a un filtro e a un regolatore di flusso, seguito da una determinazione gravimetrica della massa di PM₁₀ raccolta sul filtro. Può essere impiegato uno dei seguenti dispositivi d'ingresso per il prelievo:

- un sistema a basso volume: apparecchio campionario LVS-

PM₁₀;

- un sistema ad alto volume: apparecchio campionatore HVS-PM₁₀;
- un sistema ad altissimo volume: apparecchio campionatore WRAC-PM₁₀.

È ammesso l'utilizzo di metodi diversi da quelli di riferimento purché dotati di apposita certificazione di equivalenza, rilasciata secondo i principi, le metodologie e le procedure di prova indicati nelle “Guidances for the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods” pubblicate dalla Commissione europea e nei successivi atti che modificano o sostituiscono tali linee guida (EC working Group on Guidance Guidances for the demonstration of equivalence – January 2010).

La certificazione, che un metodo presenti un rapporto costante con il metodo di riferimento e fornisce risultati che necessitano di essere rettificati con un fattore di correzione, può essere utilizzata come certificazione di equivalenza solo nel caso in cui la Commissione Europea, su richiesta del Ministero dell’Ambiente, ne dichiari l'accettabilità secondo la procedura stabilita da tali “Guidances”. E’ possibile quindi effettuare la misura del PM₁₀ impiegando sistemi di misura automatici dotati di certificato di equivalenza al metodo di riferimento.

I metodi automatici utilizzati fanno riferimento al principio dell'attenuazione beta (β) ossia dell'attenuazione dell'energia associata ad un fascio di elettroni, che si verifica in conseguenza dell'attraversamento di uno strato sottile di materiale. Le particelle beta vengono emesse da una sorgente radioattiva di carbonio-14 (¹⁴C) e rilevate da un contatore geiger. La misura viene fatta misurando l'assorbimento di radiazioni beta prima e dopo la cattura delle particelle sospese. I TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) misurano la variazione della frequenza di risonanza del filtro oscillante carico di particelle. Il sistema consiste in un tubo

oscillante con un filtro posto sull'estremità libera. Il cambiamento della massa del filtro produce una variazione della frequenza di oscillazione del tubo affusolato che è direttamente proporzionale alla massa.

4.8 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del $PM_{2,5}$

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14907:2005 dal titolo “Qualità dell’aria ambiente. Metodo normalizzato di misura gravimetrica per la determinazione della frazione massica del $PM_{2,5}$ del particolato in sospensione”

Principio di misura: gravimetrico.

Modalità di funzionamento: l’aria ambiente viene fatta passare attraverso un ingresso dimensionale selettivo per il $PM_{2,5}$ con portata volumetrica costante e nota. La frazione di $PM_{2,5}$ viene raccolta su filtro per un periodo noto di circa 24 h. La massa di materiale $PM_{2,5}$ è determinata pesando il filtro in condizioni costanti prima e dopo la raccolta del particolato.

I fattori chiave che possono influenzare il risultato della misura, e che sono indirizzati dalle procedure previste nella presente norma, comprendono:

- perdite di deposizione; razione non volatile di $PM_{2,5}$ all'interno del sistema tra l'ingresso e il filtro;
- perdite non controllate dovute alla volatilizzazione di composti semi-volatili su $PM_{2,5}$, sia all'interno del sistema tra l'ingresso e il filtro, e sul filtro in qualsiasi momento tra la raccolta e la pesatura;
- possibili cambiamenti di peso dei filtri o della frazione di $PM_{2,5}$ a causa dell'assorbimento di acqua, o dovuta a perdita di materiale o a elettricità statica;
- portata del flusso di campionamento.

La presente norma descrive due modelli diversi per il sistema di campionamento da utilizzare all'interno del metodo standard. Questi strumenti a basso volume (LVS) e alto volume (HVS) operano a portate significativamente differenti, rispettivamente ad un valore nominale di 2,3 m³/h per gli strumenti a basso volume (LVS) e 30 m³/h per gli strumenti ad alto volume (HVS).

È noto che frazioni di massa significative di PM_{2,5} possono essere caratterizzate dalla presenza di componenti semi-volatili, come l'ammonio nitrato, che possono volatilizzarsi in qualsiasi momento all'ingresso del campionatore e/o alla pesatura del filtro, ad una velocità determinata prevalentemente dalla temperatura del sistema di campionamento e del filtro.

La misurazione del PM_{2,5} comprende almeno la concentrazione di massa totale e le concentrazioni dei componenti più idonei al fine di determinarne la composizione chimica e, in ogni caso, le concentrazioni delle specie chimiche in forma anionica come solfati, nitrati, cloruri, e cationica come ammonio, sodio, potassio, magnesio, calcio, oltre al carbonio elementare (EC) e al carbonio organico (OC).

4.9 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del piombo (Pb), cadmio (Cd), arsenico (As) e nichel (Ni)

Norma tecnica di riferimento: Il metodo di riferimento per la misurazione è descritto nella norma UNI EN 14902:2005 “Qualità dell'aria ambiente. Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni nella frazione PM10 del particolato in sospensione”.

Principio di misura: la norma prevede un metodo per il campionamento di Pb, Cd, As e Ni presenti nel PM₁₀, la digestione a microonde dei campioni e l'analisi mediante spettrometria ad assorbimento atomico con fornetto di grafite (GFAAS) o spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS).

Modalità di funzionamento: i metalli vengono portati in soluzione mediante digestione con microonde usando acido nitrico e perossido di

idrogeno. La soluzione risultante viene analizzata con GFAAS o ICP-MS.

I requisiti per la scelta dei siti di campionamento sono indicati nella prima direttiva figlia (direttiva del Consiglio 1999/30/EC 22 aprile 1999) (per Pb) e nella quarta direttiva figlia (direttiva del Consiglio 2004/107/EC 15 dicembre 2004) (per Cd, As e Ni).

I campionatori PM₁₀, regolati dalla norma UNI EN 1234, LVS o HVS, possono essere dispositivi a singolo filtro o campionatori sequenziali. Per ridurre al minimo la contaminazione del campione, tutti i componenti del portafiltro in contatto con il filtro devono essere nel materiale adatto a più basso contenuto possibile di metalli, ad esempio in PTFE (politetrafluoroetilene), vetro, quarzo, nitrato di cellulosa e cellulosa acetato.

4.10 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del benzo(a)pirene nell'aria ambiente

Norma tecnica di riferimento: il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del benzo(a)pirene è descritto nella norma UNI EN 15549:2008 “Qualità dell’aria. Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di benzo(a)pirene in aria ambiente”.

Principio di misura: metodo basato sul sistema di campionamento manuale PM₁₀.

Modalità di funzionamento: le caratteristiche di prestazione del metodo di misura sono basate su un periodo di campionamento di 24h. Il metodo di misura comprende il campionamento di BaP su PM₁₀, l'estrazione del campione con solvente organico (Soxhlet, estrazione accelerata con solvente, estrazione a ultrasuoni, estrazione a microonde) ed eventuale purificazione, l’analisi per cromatografia liquida ad alta prestazione (HPLC) con rivelatore a fluorescenza (FLD) o la gascromatografia (GC) accoppiata alla spettrometria di massa (MS).

Il metodo è applicabile per la misura del BaP in un campo di

concentrazione tra 0,04 ng/m³ a circa 20 ng/m³.

Il principio di misura che viene applicato è previsto nel metodo descritto dall'allegato VII del decreto del Ministro dell'ambiente del novembre 1994 o il metodo previsto dalla norma ISO 12884:2000.

Il Benzo(a)pirene è determinato sul campione di PM₁₀, dopo l'avvenuta pesata del particolato, per trattamento chimico e determinazione analitica cromatografica, GC o HPLC per il B(a)P accoppiata alla spettrometria di massa.

4.11 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione del mercurio nell'aria ambiente

Norma tecnica di riferimento: Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 15852:2010 “Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la determinazione di mercurio gassoso totale”.

Principio di misura: spettrometria ad assorbimento atomico con vapori freddi (CVAAS), o spettroscopia in fluorescenza atomica con vapori freddi (CVAFS).

Modalità di funzionamento: la norma è applicabile a siti di fondo che sono in conformità ai requisiti della Direttiva 2004/107/CE e a siti industriali e urbani.

Il mercurio in atmosfera è presente prevalentemente in forma gassosa come mercurio elementare (Hg⁰) ed in misura minore come metil e dimetil mercurio (MHg; MMHg), cloruro di mercurio (HgCl₂), idrossido di mercurio [Hg(OH)₂] e mercurio divalente libero (Hg²⁺).

Il mercurio presente in un campione d'aria può essere rimosso dallo stesso mediante il processo di amalgamazione con l'oro. Il principio su cui si basa il campionamento del TGM (Mercurio Totale Gassoso) in atmosfera riportato nel presente metodo consiste proprio nell'amalgama che il mercurio gassoso forma con l'oro.

Il mercurio in fase vapore viene campionato per mezzo di dispositivi (trappole) di campionamento contenenti piccoli granuli di oro

mescolati con granuli di quarzo o, in alternativa, piccoli granuli di quarzo ricoperti con un sottile film di oro. Dopo il campionamento, il mercurio viene riportato allo stato di vapore mediante desorbimento termico e, successivamente, determinato analiticamente. Il metodo copre un range di concentrazioni nell'aria ambiente tipici dei siti di fondo, di solito a concentrazioni inferiori a 2 ng/m^3 , fino a quelle che si trovano nei siti industriali in cui si prevedono concentrazioni più elevate. I metodi descritti in questa norma sono metodi automatici che comportano: adsorbimento di TGM da un volume di aria misurato su una trappola d'oro, seguito da desorbimento termico di mercurio totale dalla trappola d'oro e la determinazione di mercurio gassoso elementare con la spettroscopia ad assorbimento atomico a vapori freddi (CVAAS) o la spettrometria a fluorescenza atomica a vapori freddi (CVAFS) oppure direttamente la misura in continuo del mercurio elementare con la spettroscopia ad assorbimento atomico mediante effetto Zeeman. Nella linea di campionamento sono montati filtri in politetrafluoroetilene, di dimensione idonee per la rimozione del particolato dall'aria campionata. La linea di campionamento in FEP o PTFE deve essere il più corta possibile per evitare perdite di vapori di mercurio.

La condensazione del vapore acqueo deve essere evitata all'ingresso dell'analizzatore, ad esempio predisponendo un riscaldamento della linea di campionamento.

Per la taratura dello strumento, è necessario utilizzare mercurio elementare contenuto in un vessel che, a temperatura nota, sia in grado di fornire una miscela a titolo noto di mercurio. Ciò permette di sviluppare all'interno del recipiente vapore saturo di mercurio, in equilibrio con l'aria attraverso un tubo capillare.

La temperatura del mercurio liquido all'interno della sorgente viene monitorata con un termometro a resistenza di platino, e campioni di vapore sono prelevati con una siringa a tenuta di gas attraverso un setto. Entrambe le tecniche CVAAS e CVAFS richiedono

performances speciali per consentire la selettività nella determinazione del mercurio eliminando l'interferenza dovuta alla eventuale presenza di alcuni gas volatili, di composti atmosferici, e del particolato.

I composti volatili che assorbono alla stessa lunghezza d'onda di mercurio (253,7 nm) come l'ozono o composti organici volatili possono causare interferenze positive con CVAAS.

Al contrario, il CVAFS è meno soggetto a questo tipo di interferenza positiva perché non ci sono livelli significativi di composti fluorescenti atmosferici alla lunghezza d'onda di eccitazione e di misura (253,7 nm). Per entrambi i sistemi di rilevamento, tali interferenze sono minimizzate.

Con la spettroscopia ad assorbimento atomico mediante effetto Zeeman viene misurato solo mercurio elementare mentre il mercurio gassoso totale non è determinato. Il campionamento manuale di TGM in aria è realizzato con trappole d'oro. I campioni di mercurio raccolti sulle trappole d'oro sono analizzati dopo desorbimento termico. Il mercurio desorbito dalla trappola viene prima trasferito in una trappola analitica in oro, usando gas di trasporto privo di mercurio, in genere argon.

Il campione di mercurio viene infine desorbito dalla trappola analitica e misurato. L'uso di una seconda trappola aumenta la precisione e la riproducibilità.

4.12 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione dei tassi di deposizione di arsenico, cadmio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici

Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nel Rapporto Istisan 06/38 dell'Istituto Superiore di Sanità. La Direttiva europea 2004/107/CE del 15/12/2004 “concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente” richiede che vengano misurate le deposizioni atmosferiche totali di tali inquinanti in stazioni di campionamento “di fondo” da definirsi a livello nazionale.

Quanto al metodo di riferimento da adottare, la Direttiva stabilisce che, in mancanza di un metodo CEN normalizzato, gli Stati membri sono autorizzati ad impiegare “metodi nazionali standard”. Tale Direttiva è in corso di recepimento in Italia. Poiché i metodi CEN per questi inquinanti sono in preparazione e non saranno pronti entro tempi brevi, il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha richiesto all’Istituto Superiore di Sanità di definire i metodi nazionali standard per quanto riguarda le deposizioni atmosferiche di arsenico, cadmio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici.

4.13 Determinazione di Arsenico, Cadmio e Nichel nelle Deposizioni Atmosferiche Totali

Nella prima sezione del Rapporto Istisan 06/38 dell’Istituto Superiore di Sanità si effettua la descrizione di un metodo per la determinazione nelle deposizioni atmosferiche totali (frazione secca più umida) dei tre metalli (arsenico, cadmio e nichel) la cui determinazione è richiesta dalla Direttiva 2004/107/CE (“concernente l’arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell’aria ambiente”, Gazzetta ufficiale UE L23/3 del 26/1/2005). Il metodo è applicabile anche alla determinazione del piombo.

Le procedure descritte comprendono le operazioni di prelievo dei campioni, mediante deposimetro del tipo “bottiglia+imbuto”, e i controlli di qualità da eseguire; per quanto riguarda la mineralizzazione dei filtri e l’analisi, il metodo rimanda a una procedura già descritta in un metodo ufficiale.

Il metodo consente di determinare, con campionamenti mensili, flussi di deposizione di singoli metalli almeno nell’ordine di grandezza di $1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Per i criteri di scelta del sito di campionamento, si fa riferimento alla Direttiva 2004/107/CE, (Allegato III). La durata della raccolta di un singolo campione deve essere compresa tra una settimana e un mese (30 ± 2 giorni; normalmente 1 mese civile).

Campioni relativi a raccolte inferiori al mese possono essere uniti a formare un unico campione mensile (12 misure l’anno). Nel caso di

prelievi mensili, poiché la perdita di un campione per cause accidentali (rotture o contaminazioni) comporterebbe un'interruzione non trascurabile nella copertura temporale, si può prevedere di effettuare un campionamento in duplicato. In caso di possibili precipitazioni nevose, l'imbuto di raccolta può essere equipaggiato con un dispositivo di riscaldamento. Il campione nella bottiglia viene filtrato su filtro a membrana. Il filtro viene quindi mineralizzato in un sistema di digestione a microonde che utilizza acido nitrico e perossido di idrogeno.

Il filtrato viene acidificato con acido nitrico. La soluzione acida proveniente dalla mineralizzazione e il filtrato acidificato vengono analizzati mediante GFAAS o ICP/MS, impiegando la procedura descritta nella Norma UNI EN 14902. La mineralizzazione del filtro e l'analisi sia del filtro che del filtrato combinato acidificato vengono effettuate secondo la Norma UNI EN 14902: 2005 (Qualità dell'aria ambiente –Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni nella frazione PM10 del particolato in sospensione). L'analisi del campione deve consentire la determinazione della deposizione totale di As, Cd e Ni. Il metodo consente inoltre la determinazione del Pb e, in linea di principio, anche di altri metalli (ma non del Hg).

La Norma UNI EN 14902 è stata sviluppata e validata per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni. Per la determinazione di altri metalli, essa necessita quindi di essere verificata ed eventualmente adattata, sulla base di criteri equivalenti a quelli previsti nella Norma UNI EN 14902. La determinazione contemporanea degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e dei metalli richiede distinti campioni raccolti con due diversi deposimetri, anche se le apparecchiature e le procedure di campionamento sono sostanzialmente le stesse.

Le interferenze possono essere costituite da altri metalli presenti nel campione (il verificarsi di questa interferenza dipende dalla tecnica analitica adottata) e da contaminanti presenti nell'apparecchiatura. L'uso, in particolare, del sistema filtrante scrupolosamente pulito e di

reagenti ad elevata purezza aiuta a minimizzare i problemi dovuti alle interferenze. L'analisi del bianco di processo consente di tenere sotto controllo eventuali interferenze provenienti dai materiali e dai reagenti.

4.14 Determinazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici nelle Deposizioni Atmosferiche Totali

Nella seconda sezione del Rapporto Istisan 06/38 dell'Istituto Superiore di Sanità si effettua la descrizione del metodo per la determinazione degli IPA nelle deposizioni atmosferiche totali (frazione secca più umida). Le procedure descritte comprendono il prelievo, mediante deposimetro del tipo “bottiglia + imbuto”, e l'estrazione dei campioni; per la purificazione e l'analisi, il metodo rimanda a procedure già descritte in metodi ufficiali.

Il metodo è applicabile, in particolare, agli IPA la cui determinazione è richiesta dalla Direttiva 2004/107/CE (concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente; Gazzetta Ufficiale UE L23/3 del 26/1/2005): benz[a]antracene, benzo[b]fluorantene, benzo[j]fluorantene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, indeno[1,2,3-cd]pirene, dibenz[a,h]antracene.

Il metodo consente di determinare, con campionamenti mensili, flussi di deposizione di singoli IPA almeno nell'ordine di grandezza di $1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Le deposizioni vengono raccolte mediante esposizione di un sistema “bottiglia + imbuto” cilindrico per un periodo compreso tra una settimana e un mese. Il campione nella bottiglia viene filtrato su filtro in fibra di vetro: filtro e filtrato vengono sottoposti a estrazione con diclorometano (DCM), rispettivamente mediante ultrasuoni e in imbuto separatore. I lavaggi diclorometanici della bottiglia e dell'imbuto vengono combinati e filtrati anch'essi su filtro in fibra di vetro: il filtro e il filtrato vengono combinati, rispettivamente, con il filtro e il filtrato provenienti dal campione nella bottiglia e quindi estratti con essi. Se l'estratto necessita di purificazione, esso viene concentrato a un volume idoneo per la procedura di purificazione da

usare. Se necessario, si sostituisce il DCM con il solvente idoneo per la purificazione (es. n-esano o cicloesano). Se l'estratto non necessita di purificazione, si sostituisce il DCM con un volume noto di un solvente idoneo per l'analisi (es. n-esano o toluene per l'analisi GC/MS; acetonitrile per l'analisi HPLC/FD). Tutti gli estratti vengono combinati, essiccati e concentrati.

L'eventuale purificazione dell'estratto e l'analisi, mediante GC/MS o HPLC/FL, vengono condotte impiegando le procedure descritte in uno dei metodi standard (ISO, CEN o italiano) disponibili per l'aria ambiente. La determinazione contemporanea degli IPA e dei metalli pesanti richiede distinti campioni raccolti con due diversi deposimetri, anche se le apparecchiature e le procedure di campionamento sono sostanzialmente le stesse.

Per la purificazione e l'analisi si applicano le procedure descritte in uno dei seguenti metodi: Gruppo di lavoro Istituto Superiore di Sanità "Metodiche per il rilevamento delle emissioni in atmosfera da impianti industriali"; Determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Metodo gas cromatografico (Revisione settembre 1997); Rapporti ISTISAN 97/35. ISO. Ambient air - Determination of total (gas and particle-phase) polycyclic aromatic hydrocarbons - Collection on sorbent-backed filters with gas chromatographic/mass spectrometric analyses. ISO International Standard 12884:2000. ISO. Ambient air - Determination of particle-phase polycyclic aromatic hydrocarbons by high performance liquid chromatographic analysis. ISO International Standard 16362:2005. CEN. Air quality - Standard method for the measurement of the concentration of benzo[a]pirene in ambient air. EN 15549:2006.

Il metodo CEN è stato sviluppato e validato per il BaP, necessita quindi di essere adattato alla determinazione degli altri IPA, sulla base di criteri equivalenti a quelli previsti per il BaP. L'analisi del campione deve consentire la determinazione della deposizione totale, almeno, dei seguenti sette IPA: benzo[a]pirene, benz[a]antracene,

benzo[b]fluorantene, benzo[j]fluorantene, benzo[k]fluorantene, indeno[1,2,3-cd]pirene, dibenz[a,h]antracene. Analizzando i campioni mediante GC/MS, i tre benzofluoranteni isomeri suddetti possono essere determinati cumulativamente. Una volta accertato che il metodo consente la determinazione dei suddetti IPA, esso è, in linea di principio, idoneo anche alla determinazione del contenuto degli altri IPA nelle deposizioni totali (salvo verifica, in particolare per quanto riguarda le interferenze).

4.15 Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione dei tassi di deposizione del mercurio

Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione è descritto nella norma UNI EN 15853:2010 “Qualità dell’aria ambiente - Metodo normalizzato per la determinazione di deposizione di mercurio”. La data di entrata in vigore è del 7 ottobre 2010. La presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 15853 (edizione giugno 2010).

La norma specifica un metodo per la determinazione della deposizione totale di mercurio. Essa può essere utilizzata nell’ambito della Direttiva 2004/107/CE del Consiglio Europeo sulla valutazione e gestione della qualità dell’aria ambiente. I requisiti di prestazione che il metodo deve rispettare sono specificati nella norma.

Attualmente ci sono solo i metodi standard europei per la determinazione della concentrazione di mercurio in campioni di acqua (EN ISO 17852, Water Quality Determination Of Mercury Method Using Atomic Fluorescence Spectrometry ISO 17852:2006, EN 1483, Water Quality Determination Of Mercury Method Using Atomic Absorption Spectrometry), ma esiste un metodo standard per la determinazione del mercurio nelle precipitazioni, anche se metodi di riferimento OSPAR/EMEP sono attualmente disponibili per il mercurio nelle precipitazioni. Il campionamento delle deposizioni atmosferiche per la determinazione del mercurio viene effettuato mediante l'utilizzo di particolari deposimetri.

I materiali utilizzati (imbuti e bottiglie di raccolta) per il campionamento del mercurio devono essere di vetro borosilicato, di Teflon o PFA.

I campionatori utilizzati possono essere di due tipi. I campionatori tipo "wet only" campionano solo quando un evento di deposizioni atmosferiche "wet" è in atto e sono quelli più comunemente usati poiché evitano la deposizione di particelle in assenza di deposizioni atmosferiche di tipo "wet". Nei campionatori tipo "bulk" (wet and dry) l'imbuto di raccolta rimane sempre aperto. I campionatori devono essere in grado di campionare e conservare il campione durante tutte le stagioni e in tutte le condizioni climatiche. Pertanto sono provvisti di un sistema di termoregolazione della temperatura in modo tale da riscaldare durante l'inverno per fondere la neve e prevenire la formazione di ghiaccio nell'imbuto e nelle bottiglie, e raffreddare durante l'estate per prevenire l'evaporazione del campione. Per periodi di campionamento lunghi, è necessario favorire la diffusione di mercurio elementare (Hg^0) dal campione di deposizioni atmosferiche raccolto, dal momento che il mercurio elementare potrebbe subire l'ossidazione a forme solubili in acqua e quindi contribuire all'aumento della concentrazione di mercurio presente nel campione raccolto. È anche necessario schermare il campione raccolto nella bottiglia dalla luce per evitare reazioni fotochimiche indotte che alterino la concentrazioni di mercurio presente nel campione di deposizioni atmosferiche. Il metodo viene utilizzato per la determinazione del mercurio totale nelle deposizioni atmosferiche. Il mercurio presente nelle sue varie forme, viene ossidato a mercurio divalente (Hg^{2+}). Tutto il mercurio divalente (Hg^{2+}) viene ridotto a mercurio elementare (Hg^0). Mediante la tecnica *purge and trap* con Azoto o Argon, i vapori di mercurio elementare vengono preconcentrati (secondo il principio dell'amalgama con oro) su una trappola contenente quarzo ricoperto di oro. Successivamente, per desorbimento termico della trappola (campione), i vapori di mercurio vengono trasportati nella linea

analitica da un flusso di Argon (carrier gas) e amalgamati nuovamente su una seconda trappola (analitica). Si procede successivamente al desorbimento termico di quest'ultima ed alla misura del mercurio trasportato dal carrier nella cella di misura. Si utilizzano a tale scopo la spettroscopia ad assorbimento atomico a vapori freddi (CVAAS) o spettrometria di fluorescenza atomica a vapori freddi (CVAFS) con procedure armonizzate esistenti e standardizzate. Lo standard è applicabile per la misurazione del mercurio in deposizione tra $1 \text{ ng}/(\text{m}^2 \text{ d})$ e $100 \text{ ng}/(\text{m}^2 \text{ d})$.

L'Azoto o l'Argon utilizzato per il *purge and trap* del campione devono essere di elevato grado di purezza ed eventuali tracce di mercurio presenti devono essere eliminate mediante una trappola d'oro (trappola filtro) inserita sulla linea del gas prima dell'ingresso nel gorgogliatore. È ammesso l'utilizzo di metodi diversi da quelli di riferimento purché dotati di apposita certificazione di equivalenza, rilasciata secondo i principi, le metodologie e le procedure di prova indicati nelle “Guidances for the demonstration of equivalence of ambient air monitoring methods” pubblicate dalla Commissione europea e nei successivi atti che modificano o sostituiscono tali linee guida. La certificazione che un metodo presenta un rapporto costante con il metodo di riferimento e fornisce risultati che necessitano di essere rettificati con un fattore di correzione, può essere utilizzata come certificazione di equivalenza solo nel caso in cui la Commissione europea, su richiesta del Ministero dell'ambiente, ne dichiari l'accettabilità secondo la procedura stabilita da tali “Guidances”. A livello europeo il Comitato Tecnico CEN/TC 264, suddiviso in vari gruppi operativi è l'organo tecnico che svolge la funzione corrispondente del GL4 e si occupa delle norme relative alla qualità dell'aria, della misura e dei metodi di campionamento mentre a livello internazionale il gruppo di lavoro è denominato l'ISO/TC 146. In termini pratici il comitato CEN/TC 264 stila tali norme e l'UNI le riprende. Allo stesso modo il CEN/TC 264 riprende spesso le norme

ISO o contribuisce alla loro stesura lavorando a stretto contatto con il comitato tecnico TC 146. A differenza dell'ISO il mondo europeo delle norme è strettamente interrelato con un corpo sempre più completo di direttive dell'Unione Europea e ha dovuto, quindi, darsi regole interne più rigide: gli organismi di normazione membri del CEN sono infatti obbligati a recepire le norme europee e a ritirare le proprie, se contrastanti.

4.16 Analisi delle infrastrutture software

Un sistema tradizionale di monitoraggio della qualità dell'aria, per sua natura, è costituito da un insieme complesso di strumenti per la misura di un numero elevato di composti chimici unitamente ad un sistema in grado di registrare anche i parametri meteorologici.

Si tratta di un sistema di monitoraggio basato su misuratori puntuali con l'obiettivo di rilevare tutte le informazioni sulla qualità dell'aria e di conoscere l'entità dei singoli contributi all'inquinamento atmosferico. Un sistema di monitoraggio tradizionale presenta:

- costi rilevanti di esercizio e manutenzione;
- possibilità di integrazione con sensori e strumenti puntuali;
- possibilità di integrazione con sistemi informatici esperti per la gestione delle informazioni ambientali.

La sua implementazione sul territorio presuppone una modalità operativa che può essere rappresentata nelle seguenti fasi:

- scelta di ubicazioni delle postazioni di misura;
- definizione delle metodiche di misura;
- scelta dei composti da misurare;
- integrazione nell'esistente network di misura della Qualità dell'Aria (se trattasi di un'estensione).

Un'unità di gestione locale delle stazioni di monitoraggio ambientale e meteo-climatico deve essere in grado di interfacciare direttamente sensori meteo, analizzatori, sonde chimico-fisiche, attuatori.

Deve essere progettata per rispondere alle più svariate esigenze di acquisizione, elaborazione e trasmissione dei dati, dalle più semplici per singole stazioni, alle più complesse per reti di stazioni di vario genere gestite da centri di controllo remoti.

I diversi modelli di mercato presentano criteri costruttivi in genere con struttura aperta e modulare e quindi consentono notevoli possibilità applicative sia in termini di semplicità di utilizzo che di configurabilità, di versatilità e di espandibilità future.

Le principali funzionalità di base delle unità di gestione locale delle stazioni di monitoraggio presenti sul mercato sono di seguito indicate:

- Visualizzazione dei dati istantanei, medi, minimi, massimi, status generale dell'unità gestionale.
- Pre-trattamento dei dati. Il sistema deve acquisire i valori istantanei delle grandezze misurate e li memorizza in un archivio temporaneo. Allo scadere di una base di tempo impostata, l'insieme dei valori memorizzati viene processato per calcolare l'elaborato statistico desiderato. Per ciascuna misura deve essere possibile definire la sequenza di acquisizione e la cadenza di registrazione. Le principali elaborazioni statistiche sono: misura istantanea, media aritmetica, accumulo, periodo, integrata, vettore medio, media trigonometrica.
- Memorizzazione
 - registrazione in sicurezza su due tipi di memoria: una residente (ripartibile in più aree dove memorizzare distintamente dati istantanei, statistici, allarmi) ed una estraibile di capacità generalmente superiore dove vengono memorizzate le copie di backup dei dati;
 - gestione della memoria sia in modalità lineare (riempimento progressivo fino alla saturazione della memoria prevista), sia in modalità circolare (qualora si sia saturata tutta la memoria disponibile prevista, la memoria

si aggiorna con le ultime registrazioni).

- Comunicazione/Trasmissione
 - trasmissione dati via: modem, cellulare, radio, satellite, via cavo seriale RS232, RS485, USB o collegamento misto;
 - invio dei dati come sms, e-mail, fax;
 - protocollo di comunicazione TCP-IP, FTP, SMTP;
 - Programmazione. Il software delle unità di acquisizione deve consentire all'operatore di poter programmare le funzioni della centralina sia da locale (tramite tastiera) che da remoto (teleprogrammazione).
- Autodiagnostica. L'insieme delle procedure dell'unità gestionale per effettuare i seguenti controlli:
 - verifica sul singolo canale di acquisizione;
 - verifica sull'area di memorizzazione;
 - verifica di comunicazione con il sistema di trasmissione;
 - mancanza alimentazione;
- Parametri configurabili
 - Unità di misura del sensore espressa in unità ingegneristiche;
 - Minimo e massimo valore rilevabile dal sensore (inizio scala e fondo scala);
 - Numero decimali dopo la virgola che definiranno la misura;
 - Formula correttiva: formula di conversione per ottenere dal segnale elettrico in entrata, il valore in unità ingegneristiche;
 - Impostazione di un offset sulla misura (non nel caso della qualità dell'aria);

- Gestione allarmi
 - Possibilità di definire una soglia di allarme minimo e una soglia di allarme massimo;
 - Possibilità di definire le azioni da intraprendere, qualora la misura vada in allarme (cambio cadenza, invio messaggi a personale reperibile o a postazioni remote) e tipo di rientro.

L'emergere delle nuove tecnologie di comunicazioni sta portando ad utilizzare sempre di più soluzioni basate su reti wireless di sensori per applicazioni al mondo reale. L'unità base di stazione deve essere, quindi, dotata di modulo GPRS/3G, integrata e compatta, in grado di acquisire dati da sensori meteorologici, fisici e chimici.

Capitolo 5

La gestione dei dati ambientali e l'informazione geografica

I dati prodotti nell'ambito dei monitoraggi atmosferici, devono essere conservati ed integrati nella banche dati disponibili in maniera che sia possibile renderne la fruizione il più semplice possibile a chiunque abbia interesse al dato stesso (*i.e.*, altri ricercatori, stakeholders, privati cittadini).

Affinché la diffusione dei dati sia possibile, questi, non possono essere conservati in un formato conosciuto solo dal proprietario e non possono essere diffusi solo su base aggregata. D'altro canto, deve essere parimenti protetta la proprietà intellettuale del dato.

Altrettanto importante è l'informazione geografica e temporale del dato stesso, soprattutto per quelle categorie di dati per cui il luogo ed il tempo di campionamento rivestono un'importanza cruciale.

Le emergenze ambientali (gestione di eventi catastrofici, protezione dell'ambiente e dei cittadini, trasporti, sviluppo sostenibile in genere) richiedono l'individuazione del dove i bisogni sono più pressanti; in tal senso l'informazione geografica è necessaria al fine di valutare le necessità, formulare le relative politiche di intervento, monitorarne l'implementazione, valutarne l'efficacia.

L'Unione Europea è pienamente cosciente del ruolo strategico dell'informazione geografica ed ha attivato una serie di iniziative e programmi di ricerca al fine di standardizzare e rendere più efficienti i sistemi di informazione geografica. Tra queste iniziative e programmi ricordiamo la Cross Programme Action 3 – Use of Geographic Information del programma IST 2001, la direttiva INSPIRE (**IN**frastructure for **SP**atial **InfoR**mation in **E**urope) e GMES (Global Monitoring for Environment and Security), solo per citarne alcuni.

Sempre la UE, oramai da alcuni anni, richiede che i dati relativi ad attività di monitoraggio ambientale siano raccolti e gestiti tramite sistemi di informazione geografica.

I dati ambientali raccolti e gestiti in tale modo rappresentano un valore aggiunto al dato stesso; i dati, infatti, possono essere riutilizzati facilmente per lo sviluppo di servizi a Piccole e Medie Imprese (PMI) contribuendo a sostenere lo sviluppo economico del mercato europeo.

L'organizzazione di un sistema unico tuttavia si scontra con barriere di carattere tecnico, dovute principalmente alla coesistenza di strutture e formati di dati diversi insieme a sistemi di gestione non cooperanti, e di barriere di carattere organizzativo, dovute all'eterogeneità culturale ed istituzionale ed alla diversità di intenti politici dei vari enti produttori di dati.

La realtà è caratterizzata dalla presenza di dati frammentati e spesso ridondanti il cui accesso ed utilizzo è reso complicato da difficoltà di varia natura; i dati sono spesso in formati diversi e gestiti da sistemi non interoperabili, mancano metadati di qualità che aiutino a individuare, valutare ed acquisire i dati, vi sono restrizioni all'uso derivanti da prezzi elevati, copyright, licenze d'uso.

L'informazione geografica si sta muovendo, in questi ultimi anni, verso un cambiamento di paradigma che, rispetto alla fornitura di sistemi monolitici chiusi su se stessi e in definitiva poco utilizzabili (GIS), prevede lo sviluppo di sistemi aperti e distribuiti basati su componenti software agili e in genere monofunzionali tra loro integrabili a seconda delle esigenze.

Dai GIS, quindi, si va lentamente verso lo sviluppo di Infrastrutture di Dati Territoriali, termine con cui si intende:

“... un rilevante insieme di tecnologie, politiche, atti istituzionali, che facilitano la disponibilità e l'accesso a dati spaziali. La IDT fornisce le basi per l'individuazione dei dati spaziali, la loro valutazione ed il loro uso da parte di utenti [...] nei diversi livelli di governo, nel settore

commerciale, nel settore no-profit, nell'accademia e da parte dei cittadini in generale.” (GSDI, 2004).

Uno dei maggiori vantaggi che offre lo sviluppo di una IDT è la possibilità di riutilizzo, quindi di protezione del valore, di dati e sistemi esistenti (mantenimento, aggiornamento, reingegnerizzazione), grazie ad un processo evolutivo di migrazione, sostenibile da sistemi legacy a sistemi basati su standard internazionalmente riconosciuti.

La definizione GSDI mette in evidenza gli elementi chiave che caratterizzano una IDT:

- L'obiettivo principale è quello di massimizzare l'uso dell'informazione geografica, il che richiede facile accesso alla stessa;
- La Pubblica Amministrazione centrale ha un ruolo fondamentale di coordinamento;
- Le IDT devono essere user-driven, quindi supportare i processi di presa di decisioni in ambiti diversi;
- L'implementazione di una IDT richiede una serie di attività che includono aspetti tecnici (dati, tecnologie, standard, ...), aspetti organizzativi (accordi istituzionali, politiche dei dati, ...), aspetti legati alla disponibilità di risorse sia finanziarie che umane.

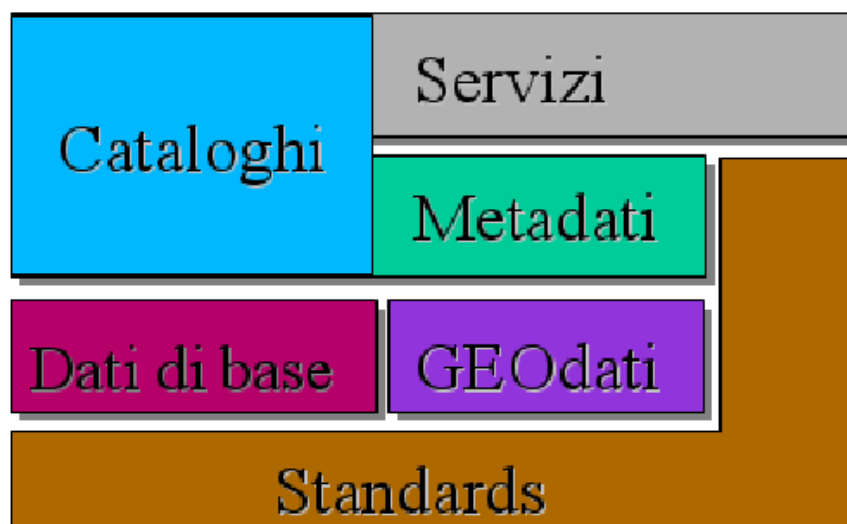


Figura 5.1. Componenti di una IDT

5.1 La Direttiva Europea INSPIRE

L'idea di una Infrastruttura Europea di Dati Territoriali (ESDI) risale al 2001: per supportare l'implementazione della ESDI, nel 2002 un MoU (Memorandum of Understanding) firmato dai Commissari Europei Wallstrom, Solbes e Busquin getta le basi per una collaborazione tra DG Ambiente, Eurostat e JRC (Joint Research Centre) e lancia ufficialmente l'iniziativa INSPIRE (Wallstrom, Solbes, Busquin, 2002).

L'obiettivo è stato quello di creare un quadro giuridico di riferimento per la realizzazione e l'attivazione di un'infrastruttura europea di dati territoriali.

INSPIRE si basa su cinque principi fondamentali

- I. i dati vanno raccolti una sola volta e gestiti laddove ciò può essere fatto in maniera più efficiente;
- II. deve essere possibile combinare i dati provenienti da differenti fonti e condividerli tra più utenti ed applicazioni;
- III. deve essere possibile la condivisione di informazioni raccolte dai diversi livelli di governo;
- IV. l'informazione geografica necessaria per il buon governo deve esistere ed essere realmente accessibile a condizioni che non ne limitino il possibile uso;
- V. deve essere facile individuare quale informazione geografica è disponibile, valutarne l'utilità per i propri scopi e le condizioni secondo cui è possibile ottenerla ed usarla.

A partire dalla data di entrata in vigore (Maggio 2007), gli Stati Membri hanno avuto due anni per recepire la direttiva nella propria legislazione nazionale (transposition phase), mentre la fase di implementazione ha durata decennale (2009-2019); la Direttiva INSPIRE, pertanto, è ancora in fase di implementazione.

Il recepimento della direttiva INSPIRE nel campo ambientale è stato effettuato in Italia con il D.Lgs. 32/2010 "Attuazione della Direttiva

2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE)”, ed è stato finalizzato alla realizzazione dell’Infrastruttura Nazionale per l’informazione territoriale nonché alla realizzazione del monitoraggio ambientale.

Lo stesso decreto stabilisce le norme generali per lo scambio, la condivisione, l'accesso e l'utilizzazione, in maniera integrata con le realtà regionali e locali, dei dati necessari.

Il D. Lgs. 32/2010 sancisce l’integrazione dei dati ambientali con i dati territoriali come condizione necessaria per la costituzione di una base di conoscenza a supporto delle politiche ambientali, pienamente coerente con quanto indicato nella Comunicazione SEIS (Shared Environmental Information System – Verso un Sistema comune di informazioni ambientali (SEIS) - COM(2008) 46 del 1 febbraio 2008) della Commissione Europea che estende i principi della direttiva INSPIRE al complesso delle informazioni ambientali.

I dati raccolti tramite i monitoraggi ambientali, pertanto confluiscono nel Sistema Informativo Nazionale Ambientale (SINA), gestito dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), che ne consente la fruizione (<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/emissioni>).

5.2 Gli standard utilizzati

L'applicazione della direttiva INSPIRE richiede che i dati vengano gestiti in maniera “standard”. Gli enti di normazione normalmente considerati sono:

- **ISO** (International Organization for Standardization) a livello mondiale;
- **CEN** (Comité européen de normalisation) a livello europeo;
- **UNI** (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) a livello italiano.

Le informazioni geografiche e geomatiche sono svolte principalmente sotto l'egida del Comitato Tecnico 211 della ISO (ISO/TC211). Tutti

gli standard relativi alle informazioni geografiche appartengono alla serie ISO 19100 – ad esclusione dell'ISO 6709 che riguarda gli standard di rappresentazione delle coordinate geografiche – e molti di essi sono già divenuti "norme nazionali" (circa 17). Quello di nostro interesse è lo standard ISO19115 – Metadati e relativi corrigendum ed addendum, che ha il compito di definire gli schemi necessari per metadattare le informazioni geografiche e fornisce informazioni relative all'identificazione, l'estensione, la qualità, gli schemi temporali e spaziali, i riferimenti spaziali e la distribuzione di dati geografici numerici.

Lo standard è costituito da

- ISO19115:2003 Geographic information – Metadata;
- ISO 19115:2003/Cor 1:2006 - Technical Corrigendum;
- ISO 19115-2:2009 Geographic information -- Metadata -- Part 2: Extensions for imagery and gridded data.

Lo standard fornisce una struttura astratta per la descrizione delle informazioni geografiche digitali attraverso la definizione di Metadata. Lo schema di implementazione dell'ISO 19115 è definito nell'ISO/TC 19139 che sarà oggetto di descrizione in un documento a parte. L'ISO 19115 si applica:

- alla catalogazione di dati (dataset), descrizione completa dei dati, attività di clearinghouse;
- a dati geografici, serie di dati geografici e caratteristiche geografiche singole e proprietà delle caratteristiche;

e definisce:

- sezioni di metadati obbligatorie e condizionali, entità di metadati ed elementi di metadati;
- l'insieme minimo di elementi (core metadata) richiesti dalla gamma completa di applicazioni di metadati (scoperta dei dati, determinazione della pertinenza per l'uso, accesso ai dati,

trasferimento dei dati e uso dei dati numerici);

- elementi opzionali di metadati per consentire una più estesa descrizione standard dei dati geografici, se richiesto;
- un metodo per estendere i metadati per rispondere a richieste specialistiche.

Benché lo standard ISO19115 si applichi ai dati geografici rappresentati numericamente, i principi definiti possono essere estesi a molteplici forme di dati geografici quali mappe, carte e documenti testuali. Alcuni elementi di metadati obbligatori potrebbero non essere applicabili ad altre forme di dati.

Lo standard prevede un insieme minimo di elementi, alcuni obbligatori (*M = Mandatory*), altri condizionali (*C = Conditional*), altri ancora opzionali ma comunque raccomandati (*O = Optional*).

Titolo del dataset (M)	Titolo con cui sono identificati i dati
Data di riferimento del dataset (M)	Data di riferimento dei dati: può essere di creazione, pubblicazione o revisione
Responsabile del dataset (O)	Descrizione del responsabile della risorsa e delle modalità di contatto
Localizzazione geografica del dataset (quattro coordinate o identificatore geografico) (C)	Estensione geografica dei dati
Lingua del dataset (M)	Linguaggio utilizzato per i dati
Set di caratteri del dataset (C)	Nome dello standard del set di caratteri utilizzato per i dati
Tema (M)	Tema o argomento a cui si riferiscono i dati
Risoluzione spaziale del dataset (O)	Fattore che fornisce la comprensione generale della densità dei dati nel dataset (livello di dettaglio espresso come la scala di un equivalente mappa cartacea oppure come risoluzione geometrica al suolo)
Descrizione del dataset (M)	Breve testo di descrizione del contenuto della risorsa descritta
Formato di distribuzione (O)	Descrizione del formato con cui i dati sono distribuiti
Altre informazioni sull'estensione (verticale o temporale) del dataset (O)	Ulteriori informazioni sull'estensione verticale, planimetrica e temporale dei dati
Tipo di rappresentazione spaziale (O)	Metodo di rappresentazione spaziale dei dati (es: vettoriale)
Sistema di riferimento (O)	Informazioni sul sistema di riferimento dei dati
Genealogia (O)	Testo descrittivo della "genealogia" dei dati

Risorsa on-line (O)	Riferimento online delle fonti dei dati e/o le specifiche e/o il profilo di metadati usato
Identificatore del file di metadati (O)	Identificatore univoco del file di metadato
Nome dello standard del metadato (O)	Nome dello standard (incluso il nome del profilo) di metadati utilizzato
Versione dello standard del metadato (O)	Versione dello standard/profilo utilizzato
Lingua del metadato (C)	Linguaggio utilizzato per i metadati
Set di caratteri del metadato (C)	Nome dello standard del set di caratteri utilizzato per i metadati
Punto di contatto del metadato (M)	Soggetto responsabile per la gestione del metadato
Data del metadato (M)	Data di creazione o aggiornamento del metadato

Tab. 5.1. Core metadata (insieme minimo degli elementi)

Lo standard scelto (19115) è uno standard "astratto", che si limita a specificare quali elementi devono essere considerati come set minimo (*core*) e quali opzionali, ma non specifica come questi elementi devono essere trattati per garantire interoperabilità tra sistemi diversi di gestione metadati. Le caratteristiche principali dello standard ISO19115 rispetto ad altri standard usati per i metadati geografici sono:

- struttura UML;
- XML;
- Multilinguismo;
- possibilità di creare profili;
- definizione di un minimo comune (*core*);
- metadati multilivello;
- integrazione con altri standard ISO.

L'obiettivo di fondo di ISO19115 è la possibilità di supportare l'interoperabilità attraverso relazioni strutturate tra gli elementi che lo compongono, il richiamo ad elementi di altri standard della serie 19100, grazie all'adozione di UML come linguaggio (standard) per la modellazione, e di XML come formato (standard) per la realizzazione

e l'interscambio machine-to-machine dei metadati. ISO19115 individua anche un insieme minimo di metadati (core Metadata) necessario per descrivere un dataset, e fornisce una serie di "liste" di valori predefinite:

- Enumeration: lista chiusa di valori;
- Codelist: lista incrementabile (o comunque "personalizzabile") di valori.

L'uso di codelist predefinite e l'integrazione con altri standard ISO (per esempio ISO 639 per la codifica delle lingue, o ISO 3166-1 per la codifica dei paesi) rende ISO19115 uno standard abbastanza flessibile nell'applicazione pratica. Il profilo core rappresenta il nucleo base che deve essere assicurato per garantire l'omogeneità a livello internazionale; questo nucleo può essere ampliato a seconda delle esigenze, definendo obbligatori alcuni elementi considerati opzionali nel core, oppure restringendo o allungando la codelist di valori di un determinato elemento (es. le restrizioni all'uso di dati), oppure creando nuove codelist. Infine, una grande peculiarità è la possibilità di applicare il modello di metadati a livello di singolo dataset, oppure ad un'aggregazione di dataset (serie), o ancora a livello di singola feature geografica.

La definizione dei metadata dei dataset permette la fruizione dei dati ambientali tramite portali tematici di qualità dell'aria accessibili tramite un normale browser.

Un esempio di tale portale tematico è quello prodotto nell'ambito del progetto GIIDA, in cui i dati ambientali presentati sono prodotti dal CNR-IIA.

L'intero progetto GMOS, che analizzeremo nel prossimo capitolo, presenta un Work Package dedicato proprio all'interoperabilità dei dati ed è consultabile all'indirizzo www.gmos.eu/database

La SDI (Spatial Data Infrastructure) del CNR-IIA è consultabile

all'indirizzo <http://sdi.iaa.cnr.it/geoint/>

Altra SDI nazionale è la banca dati BRACE, gestita da ISPRA, che abbiamo già visto nel secondo capitolo (<http://www.brace.sinanet.apat.it>).

5.3 La qualità del dato

Le operazioni di monitoraggio (sia con strumentazione automatica che manuale) devono poter garantire un dato conforme alle modalità di utilizzo, ovvero deve possedere una determinata qualità metrologica.

La qualità metrologica deve essere conseguita e assicurata; tutta la filiera produttiva del dato deve sottostare alle regole di QA / QC (Quality Assurance / Quality Control) in maniera tale da poter garantire gli utilizzatori finali sulla bontà del dato. Tale garanzia deve essere particolarmente alta nel caso dei dati ambientali, considerati i rischi per la salute pubblica che l'inquinamento atmosferico comporta.

Inoltre, il dato ambientale è il primo passo per un processo decisionale ed è per questo che il singolo dato analitico deve essere supportato da una serie di dati ancillari (*i.e.*, lo stato dello strumento di misura, il metodo di analisi e/o campionamento utilizzato, eventuali interferenze) che possano aiutare l'operatore nel processo di validazione.

Il conseguimento di un dato di qualità può essere raggiunto solo e soltanto con l'adozione di un valido approccio sistemico alla calibrazione degli strumenti, alla localizzazione degli stessi, alle tecniche di campionamento e successiva analisi, al trasporto dei campioni che non possono essere analizzati sul campo.

La qualità di un dato ambientale, pertanto, può essere garantita solo e soltanto con la definizione e l'adozione di specifiche SOP (*Standard Operation Procedure*) che possano definire:

- la catena di custodia;
- Rispetto dei tempi di conservazione;
- Bianchi di campo e di laboratorio;
- Duplicati di campo;

- Matrix Spike / Matrix Spike Duplicate.

Nel caso di analisi ambientale, si intende per **Bianco** la matrice di interesse priva dell'analita da ricercare. La raccolta di campioni di bianchi è fondamentale per escludere una contaminazione involontaria del campione. Durante la fase del campionamento è necessario accertarsi che le attrezzature non contaminino i campioni. La raccolta dei bianchi ricopre un ruolo fondamentale nei tipi di analisi in cui i limiti di legge (o di rilevabilità) sono molto bassi.

Altro aspetto importante è il processo di conservazione, il campione deve essere prelevato in un contenitore adeguato, le cui pareti non adsorbano l'analita o che ne escludano la degradazione per esempio per via fotochimica.

Fondamentale essere anche la catena di custodia. Per catena di custodia si intende la registrazione dei passaggi di responsabilità dei campioni dal campo al laboratorio, indicante lo stato del campione (temperatura, contenitore, ecc.) e il suo posizionamento (frigo-box, ecc.). La catena di custodia deve assicurare la tracciabilità di ogni singolo campione e deve fare parte integrante della documentazione del campione.

Un'altra causa di contaminazione può essere rappresentata dalla permanenza dei campioni in laboratorio. Il laboratorio chimico per sua natura può essere fonte di contaminazione. E' necessario quindi procedere con bianchi di laboratorio da affiancare ai bianchi di campo.

Altro aspetto da non sottovalutare sono i duplicati di campo. Questi campioni permettono di valutare la precisione dell'intera attività di raccolta dei dati, includendo il campionamento, le analisi di laboratorio e l'omogeneità del campione.

Una aggiunta in matrice "Matrix Spike" (MS) e un'aggiunta in matrice duplicata "Matrix Spike Duplicate" (MSD) sono un'aggiunta ad un'aliquota di campione di una concentrazione nota di tutti gli analiti di interesse previsti dal metodo specifico. Gli MS/MSD sono utilizzati

per documentare le interferenze dovute alla matrice del campione o in altre parole la deviazione di un metodo dovuta alla matrice (precisione e bias della misura su quella matrice) e non per controllare la performance del metodo.

L'aggiunta deve essere fatta prima delle operazioni di preparazione del campione oggetto di analisi. Ogni analita nel MS e MSD deve essere aggiunto ad un livello minore o uguale al punto medio della curva di calibrazione per ogni analita.

In genere si adotta il criterio di sottoporre ad analisi un minimo di un MS e un MSD per ogni 20 campioni appartenenti alla stessa matrice. I risultati degli MS e MSD sono valutati in funzione dei limiti di controllo definiti per ciascun metodo analitico ed in funzione del progetto di monitoraggio.

Dal punto di vista “normativo”, la “qualità metrologica” dei processi di monitoraggio e misurazione, trova un primo, sia pur generico, riscontro nei requisiti applicabili della normativa quadro in materia di gestione per la qualità e precisamente:

- per le specifiche attività di prova, misura (e taratura): Norma ISO/IEC 17025:1999 “Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura”;
- per le attività di produzione di beni e servizi in genere, Norma ISO 9001:2000 “Sistemi di gestione per la qualità – requisiti”.

Normalmente, le norme su sistemi di gestione aziendale (ambientale, salute e sicurezza sul lavoro, sicurezza delle informazioni, ecc..), risultano assai carenti in termini di requisiti di qualità metrologica, nonostante l'importanza ricoperta dai processi di misurazione nell'ambito di detti sistemi.

Prescrizioni più specifiche sono contenute nella norma ISO 10012:2003 “Sistemi di gestione delle misurazioni – requisiti per i processi e le apparecchiature di misurazione”, con particolare riferimento alle misurazioni strumentali e, in tale ambito, ai

procedimenti di conferma metrologica.

Per ogni tipologia di analisi e campionamento, è necessario definire i propri parametri di qualità e la corretta metodologia da seguire.

Nel caso di analisi automatiche o semi-automatiche (analizzatori o campionatori/analizzatori), una prima validazione del dato viene effettuato dal software di controllo della stessa macchina in base ai parametri di funzionamento della stessa, ad eventuali allarmi interni ed ai cicli di calibrazione e span.

Gli stessi concetti di QA/QC devono essere adottati anche verso i database in cui sono conservati i risultati dei monitoraggi in maniera tale da evitare il degrado dei dati conservati.

Un database di qualità deve:

- conservare i dati in maniera efficiente;
- permettere analisi sulle variabili di interesse;
- permettere di scoprire anomalie e/o errori;
- conservare i metadati.

Risulta evidente come le SDI esaminate precedentemente oltre a migliorare il livello dell'informazione geografica, permettono anche di seguire ottime politiche di QA/QC su dati e metadati che conservano.

Capitolo 6

Un caso reale: il progetto GMOS

La scelta di illustrare il progetto GMOS deriva dal fatto che, lavorando presso il CNR-IIA con il profilo di tecnologo, una parte della mia attività professionale consiste nel management del progetto GMOS, in collaborazione con i WP leaders e con il coordinatore, Prof. Nicola Pirrone.

E' evidente come una simile attività professionale, in un progetto quinquennale il cui scopo è la creazione di una rete di monitoraggio globale, sia pienamente attinente agli scopi di questo Dottorato di Ricerca, anche in considerazione del fatto che una parte preponderante del progetto riguarda proprio il coordinamento di campagne di monitoraggio sia *on-shore* che *off-shore*.

Nei capitoli precedenti, tra i vari inquinanti atmosferici esaminati è stato incluso anche il mercurio che, tuttavia, fa parte degli inquinanti monitorati dei network come EMEP, nonostante la sua conclamata pericolosità.

Lo studio per la distribuzione del Mercurio nei diversi ambienti (*i.e.*, terrestre, marino, polare) è tuttora in corso; il mercurio si presenta, infatti, in tutte le matrici ambientali, dall'acqua all'aria passando per i terreni poiché il mercurio, nelle sue diverse forme, rilasciato in atmosfera presenta un ciclo di vita molto lungo e si deposita sui corpi recettori terrestri ed acquatici, con un notevole impatto sulla catena alimentare. Il ciclo del mercurio nelle differenti matrici dipende dalla dinamica di processi chimici e fisici (ossidazione, deposizione secca ed umida) che influenzano sia il trasporto che i tempi di residenza.

Non esiste una rete coordinata globale di monitoraggio del mercurio che possa fornire i dati necessari allo sviluppo di modelli chimico-

fisici o per effettuare delle raccomandazioni per la protezione della salute umana. Le reti esistenti, a livello locale o regionale, sono insufficienti e non permettono la comprensione dei fenomeni di dispersione e di variazione giornaliera della concentrazione di mercurio in aria ambiente. Inoltre, la maggior parte del monitoraggio di mercurio viene effettuato nell'emisfero settentrionale del pianeta ed esistono pochi dati su quanto avviene nell'emisfero meridionale.

Il gap sta per essere colmato con il progetto **GMOS** (Global Mercury Observation System – www.gmos.eu), finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito dei progetti cooperativi del 7° Programma Quadro (2007 - 2013) e coordinato dall'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IIA) e che ha come obiettivo primario l'istituzione di un sistema globale di osservazione attraverso l'integrazione con stazioni di monitoraggio, campagne oceanografiche *ad-hoc*, campagne di misure attraverso vettori aerei in grado di fornire le concentrazioni del mercurio e dei suoi composti in aria e nelle precipitazioni, così come negli ecosistemi marini a latitudini diverse ed al variare del tempo.

Il GMOS ha avuto inizio il primo novembre 2010 ed ha durata quinquennale; pertanto, è nel pieno delle proprie attività dopo poco più di 24 mesi di attività.

6.1 Breve panoramica sulle attività del progetto GMOS

La relativa mancanza di dati storici per siti remoti, in particolare nel Sud del mondo e le regioni montane, ha portato all'implementazione di numerose stazioni di monitoraggio dislocate proprio in tale aree remote al fine di colmare il gap della conoscenza.

In un Osservatorio, come specificato nel capitolo precedente, l'affidabilità e la confrontabilità dei dati ottenuti dipende dall'impiego di metodi standard per tutti i siti di monitoraggio. Una delle principali attività di normalizzazione realizzata è stata, appunto, la definizione delle Procedure Operative Standard (SOP) per il campionamento e la

misurazione delle specie di mercurio in aria e precipitazioni in maniera tale che tutti i partner presentassero pari capacità tecniche ed analitiche.

Tra i risultati più notevoli, raggiunti dal gruppo che effettua le misure a terra, oltre alla firma di numerosi accordi bilaterali con numerose Organizzazioni per l'allargamento del network osservativo, va ricordato l'avvio del monitoraggio in continuo del mercurio presso il Laboratorio/Osservatorio del Comitato Ev-K2-CNR Piramide situato a 5050 m slm in Nepal alla base del monte Everest, e presso Amsterdam Island, un'isola vulcanica sperduta nell'Oceano Indiano meridionale, a circa 5000 km da Città del Capo e 3500 km sia da Perth e l'Antartide. Il monitoraggio continuo ha avuto inizio anche a Dome Concordia a 3250 m slm sul Plateau Antartico.

La struttura osservativa del progetto GMOS, relativamente alle sole stazioni di monitoraggio fisse, è rappresentata nella seguente tabella.

Stazione di Monitoraggio	Paese	Elevazione (m asl)	Lat	Lon	Ente Gestore	Affiliation
Alert	Canada	210	82,45	-62,52	EC	EC/GAW
Station Nord	Greenland	30	81,60	-16,67	AU	AMAP
Zeppelin (Ny Alesund)	Norway	474	78,91	11,88	NILU	GAW
Pallas	Finland	340	68,00	24,24	IVL	EMEP
Råö	Sweden	5	57,39	11,91	IVL	GAW
Auchencorth Moss	Scotland	260	55,79	-3,24	CEH	EMEP
Mace Head	Ireland	5	53,33	-9,91	HZG	GAW
Waldhof/Langenbrugge	Germany	74	52,80	10,75	HZG	EMEP
Listvyanka, Irktsk	Russia	670	51,85	104,89	SPBSU	GAW
Col Margherita	Italy	2545	46,37	11,79	UNIVE	
Iskrba	Slovenia	520	45,56	14,86	JSI	EMEP
Monte Cimone	Italy	2165	44,19	10,70	CNR-IIA / ISAC	GAW
Mt. Bachelor, OR	USA	2743	43,98	-121,69	UofW	NOOA
Cap Ferrat	France	130	43,68	7,33	CNRS	
La Seyne-sur-Mer	France	10	43,11	5,89	IFREMER	
Mt. Waliguan – Changbaishan	China	741	42,40	128,11	IGCAS	GAW
Storm Peak, CO	USA	4086	40,45	-106,75	DRI	
Longobucco Station	Italy	1379	39,39	16,61	CNR-IIA	EMEP
Kanghwa Island	Korea	88	37,70	126,32	KNU	
Mt. Waliguan	China	3816	36,29	100,90	IGCAS	GAW

Minamata, Kyushu Islands	Japan	20	32,20	130,37	MoE	
Ev-K2-CNR	Nepal	5050	27,96	86,81	CNR-IIA	GAW
Mt. Ailao	China	2503	24,54	101,03	IGCAS	GAW
Cape Hedo, Okinawa	Japan	60	26,86	128,25	MoE	
Lulin Station (LABS)	Taiwan	2862	23,47	120,87	NCU	GAW
Mauna Loa, HI	USA	3397	19,54	-155,58	US-EPA	NOOA/GAW
Celestun	Mexico	3	20,86	-90,38	JRC	GAW
Calhau, Sao Vicente	Cape Verde	10	16,86	-24,87	UoY/INMG	GAW
Kodaikanal	India	2343	10,23	77,46	IOM-AUC	GAW
Nieuw Nickerie	Suriname	1	5,96	-57,04	INTEC	GAW
Mahè Island	Seychelles	3	-4,67	55,17	SBS / CNR-IIA	GAW
Rondonia, Amazonia	Brazil	110	-8,69	-63,87	USP	GAW
Cape Point	South Africa	230	-34,35	18,49	SAWS	GAW
Amsterdam Island	TAAF	70	-37,80	77,55	LGGE-UJF	GAW
Bariloche	Argentina	801	-41,13	-71,42	INIBIOMA	GAW
Cape Grim	Australia	94	-40,68	144,69	IVL	GAW
Dumont d'Urville	Antarctica	40	-66,66	140,00	LGGE-UJF	GAW
Dome C, Antarctica	Antarctica	3220	-75,10	123,35	LGGE-UJF / CNR-IIA	GAW

Tabella 6.1. Il sistema delle stazioni di monitoraggio del GMOS

La tabella successiva riporta, per ogni sito di monitoraggio, quali composti del mercurio siano misurati.

Site	TGM	GEM	PBM _{2,5}	GOM	Hg in precip.
Alert		X	X		
Station Nord		X			
Zeppelin	X				X
Pallas	X				X
Räö		X	X	X	X
Auchencorth Moss		X	X	X	X
Mace Head	X				X
Waldhof/Langenbrügge		X	X	X	X
Lystvyanka Irkutsk district	X				X
Col Margherita	X				
Iskrba		X			X
Monte Cimone					
Mt. Bachelor, OR		X	X	X	
Cap Ferrat	X		X		X
La Seyne-sur-Mer	X		X		X
Mt. Waliguan-Changbaishan	X				X
Storm Peak, CO					

Longobucco Station		X	X	X	
Kanghwa Island	X				
Mt. Waliguan		X	X	X	X
Minamata. Kyushu Islands		X	X	X	X
Ev-K2-CNR	X				
Mt. Ailao	X				X
Cape Hedo, Okinawa		X	X	X	X
Lulin Station		X	X	X	X
Mauna Loa, Hill		X	X	X	
Celestùn	X				X
Calhau, Sao Vicente	X				
Kodaikanal		X			
Nieuw Nickerie	X	X			X
Mahè Island					
Rondonia Amazonia		X	X	X	
Cape Point		X			X
Amsterdam Island		X	X	X	X
Bariloche		X			
Cape Grim	X				
Dumont d'Urville	X				
Dome C, Antarctica		X			

Tabella 6.2. Composti del mercurio analizzati ai diversi siti di monitoraggio del GMOS

Parallelamente alle osservazioni a terra, rivestono grande importanza le variazioni spaziali delle specie di mercurio nell'ambiente marino (acque superficiali e profonde) e lungo la troposfera fino alla bassa stratosfera. Pertanto, come parte del programma di misure del GMOS programmi sono state effettuate sia campagne oceanografiche per studiare la diffusione del mercurio in ambiente marino, che campagne di monitoraggio nella troposfera tramite vettori aerei. Tali campagne di misure sono state in grado di fornire informazioni chiave che non è possibile ottenere con i siti di monitoraggio.

Per quanto riguarda, le campagne oceanografiche sono state realizzate due campagne oceanografiche nel Mediterraneo (Ottobre – Novembre 2011, Agosto 2012) ed una nell'Oceano Atlantico. Le campagne

oceanografiche nel Mediterraneo sono state effettuate a bordo della Research Vessel “Urania” del CNR



Figura 6.1. RV “Urania”

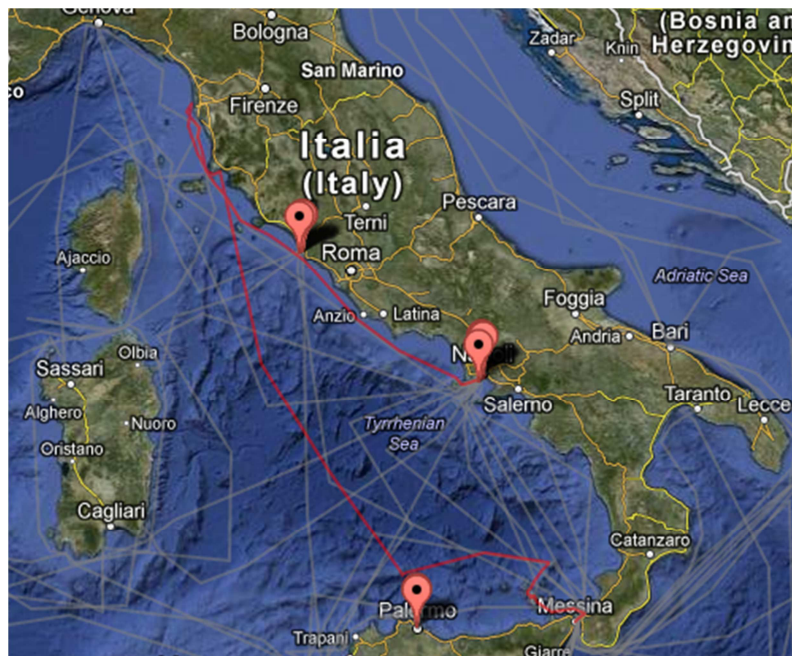


Figura 6.2. La rotta seguita dalla RV “Urania” durante la campagna oceanografica del 2011.



Figura 6.3. La rotta seguita dalla RV “Urania” durante la campagna oceanografica del 2012.

I dati raccolti durante le campagne oceanografiche sono in fase di QA/QC e di comprensione e saranno pubblicati, dai ricercatori delle Istituzioni coinvolte, sulle riviste scientifiche del settore.

Le campagne a bordo di aerei sono state effettuate su voli intercontinentali; ad agosto 2012 è stata effettuata una campagna di intercomparison con strumenti montati su aerei e strumenti a terra presso le pendici dell'Etna. I dati di tale intercomparison sono ancora in fase di analisi.

Un ulteriore ed importante sviluppo ottenuto all'interno del progetto GMOS è consistito nell'aggiornamento del database delle emissioni, risalente al 2005, per riflettere la mutata struttura delle emissioni antropiche negli ultimi anni. Il database delle emissioni è di fondamentale importanza poiché permette la valutazione di diversi scenari in relazione alle possibili decisioni prese.

La rete osservativa sviluppata all'interno del progetto GMOS viene utilizzata anche per verifiche i modelli di trasmissione degli inquinanti sviluppati all'interno del GMOS stesso. In particolare, il GMOS utilizza sia modelli a scala globale che modelli a scala regionale, con una migliore risoluzione spaziale. Tutti i modelli utilizzati sono stati aggiornati, e particolare attenzione si è posta sui meccanismi di scambio aria / acqua / terra. Si sta cercando, inoltre, di accoppiare i modelli a scala globale con quelli a scala regionale, in maniera tale che gli output del modello a scala globale possano essere utilizzati come condizioni al contorno per i modelli a scala regionale.

Al fine di archiviare e valutare l'immensa mole di dati che un siffatto sistema osservativo è in grado di fornire, è stata dedicata grande attenzione alla creazione di una SDI basata su protocolli standard internazionali, come definiti nei capitoli precedenti, in maniera tale da garantire sia il *retrieval* dei dati in maniera automatica, sia

l'interoperabilità nell'ambito del sistema GEOSS (Sistema di osservazione globale della Terra dei sistemi).

La SDI di GMOS è stata strutturata per soddisfare le esigenze di archiviazione dei dati storici, l'acquisizione di dati in continuo dalla rete di monitoraggio e di funzionare come un repository per gli output dei modelli di simulazione atmosferica sviluppati all'interno del progetto, con dati geo-referenziati e descritti da metadati che soddisfino i criteri internazionali di interoperabilità. La SDI del GMOS non è soltanto un archivio di dati, ma è stata progettata con l'intento di rendere i dati disponibili a diversi tipi di utenti.

Come risultato di questi primi due anni di progetto, il GMOS è diventato il programma di riferimento, per quanto riguarda l'inquinamento da mercurio, in tutto il mondo, sia per gli scienziati e responsabili politici e tutte le parti interessate.

6.2 Attività del Dottorando all'interno del progetto GMOS

Come specificato precedentemente, sono stato coinvolto in prima linea nel management del progetto GMOS ed ho avuto un ruolo di raccordo tra i partners e la Commissione Europea.

Durante i primi due anni del progetto GMOS, le mie attività principali sono consistite nel supportare il coordinatore durante la fase di negoziazione del progetto e, successivamente, assisterlo durante il processo di definizione e firma del Consortium Agreement, ovvero il documento legale che regola i rapporti tra tutti i partner, definisce la governance del progetto (specificando sia gli organi consultivi che decisionali) e le modalità di convocazione dei vari gruppi, la proprietà intellettuale e lo scambio di dati ed informazioni tra i partner (sia il foreground che il background dei partecipanti), le modalità di risoluzione di possibili controversie interne. Il Consortium Agreement è, in un certo senso, la traduzione giuridica degli impegni che i partecipanti al progetto prendono l'uno con l'altro.

Nel corso di questi anni, è stato anche necessario effettuare un Grant Amendment al progetto; durante tale Grant Amendment, con la riapertura della negoziazione, sono stato di supporto operativo al coordinatore del progetto con attività di verifica e contatto quotidiano con il Project Officer e con il Financial Officer, designati dalla Commissione Europea.

Altro aspetto importante del lavoro effettuato, riguarda la rendicontazione scientifica ed economica del progetto GMOS.

Tutti questi aspetti di management di progetto per progetti di tipo collaborativo all'interno del 7° Programma Quadro, vengono portate avanti tramite il portale ECAS (*E*uropean *C*ommission *A*uthentication *S*ervice), che è l'unico strumento riconosciuto dalla Commissione Europea.



L'ECAS si suddivide a sua volta in tre diversi portali.

Il **NEF** (NEgotiation Facility) fornisce un canale per la comunicazione interattiva tra il Consorzio e la Commissione Europea. Consente la sottomissione delle form amministrative GPF e dell'Annex I che si compone di una parte A e una parte B. Ogni partecipante accede al NEF e compila la sua parte; ma solo il coordinatore può effettuare il submit della documentazione. Il submit chiude la sessione della negoziazione e i documenti sono imm modificabili. Il Project Officer notifica la sottomissione, controlla quanto ricevuto, fornisce commenti

e può riaprire la sessione.

Il FORCE, invece, si occupa di facilitare la rendicontazione periodica del progetto. I partner effettuano la rendicontazione della propria quota, in accordo alle regole della Comunità Europea ed al modello scelto per il calcolo dei costi indiretti, ed effettuano il submit della propria rendicontazione al coordinatore. Il coordinatore verifica le rendicontazione dei singoli partner ed effettua la trasmissione della rendicontazione alla CE. Particolare attenzione deve essere effettuata sul fatto che la trasmissione della FORM C (il modulo di rendicontazione) per via telematica non sostituisce l'invio del FORM C in formato cartaceo con timbro e firma del partner. SESAM rappresenta il tool creato dalla Comunità Europea per i Report dei Progetti Europei.

Conclusioni

L'attività svolta all'interno del presente Dottorato di Ricerca è stata una attività essenzialmente compilativa ma non per questa noiosa o banale.

La normativa ambientale riveste una importanza fondamentale per chi effettua ricerca in campo ambientale poiché, da un lato, definisce lo stato attuale ed i limiti vigenti; dall'altro, evidenzia proprio tali limiti e permette al ricercatore attento di intraprendere le necessarie azioni correttive affinché eventuali vuoti normativi possano essere colmati.

La scrittura di Position Paper e la partecipazione a Progetti Europei sono le condizioni essenziali per permettere al legislatore ed agli Stakeholders di adeguare la normativa allo stato attuale della conoscenza e di sviluppare sia nuovi strumenti normativi che strumenti di previsione, con un notevole vantaggio per tutta la Comunità.

La normativa ambientale, pertanto, deve andare di pari passo con le tecnologie che vengono man mano migliorate e con nuovi metodi per il monitoraggio delle specie inquinanti.

Questa affermazione implica che un lavoro di review della normativa ambientale non ha mai una vera fine ma necessita di continuo aggiornamento ed adeguamento. La conoscenza della storia della normativa ambientale e di quanto fatto finora rimane un elemento centrale per la comprensione sia di nuovi metodi di misura che di nuove norme.

Come specificato, tuttavia, i dati ambientali devono essere soprattutto dati di qualità ed implementare un processo sistemico di qualità non è sicuramente un fatto episodico o di semplice attuazione. La ricerca di metodiche di analisi dei dati raccolti, di visualizzazione degli stessi dati sono punti fondamentali per una corretta comprensione delle dinamiche ambientali sia per il trasporto degli inquinanti che per la chimica degli stessi.

Il progetto GMOS rappresenta la nascita di un nuovo sistema osservativo su un inquinante, il mercurio, che sebbene noto da molto tempo non ha avuto, sinora, un sistema integrato di monitoraggio.

La creazione di un osservatorio permanente, considerati i lunghi tempi di permanenza dei composti del mercurio in atmosfera, permette una migliore conoscenza dei processi che ne regolano sia la chimica che la diffusione. Questa conoscenza aumentata permetterà la costruzione e lo sviluppo di modelli di previsione sempre più raffinati che potranno essere di enorme supporto al legislatore per abbattere le emissioni antropiche di mercurio in atmosfera. Sono stati effettuati molti passi su questa strada, ma altri devono esservi fatti.

L'attività svolta ha portato ad una grossa crescita professionale che mi ha permesso di essere coinvolti in altri progetti in campo ambientale. Uno di questi progetti riguarda la realizzazione di una infrastruttura osservativa integrata climatico-ambientale. Tale infrastruttura prende il nome di progetto I-AMICA (**I**nfrastruttura di **A**lta Tecnologia per il **M**onitoraggio **I**ntegrato **C**limatico-**A**mbientale – www.i-amica.it), finanziato all'interno del PON Ricerca e Competitività.

Lo scopo di I-AMICA è quello di potenziare le Regioni della Convergenza con strutture ed apparecchiature utili ad innalzare gli standard operativi del sistema della ricerca pubblica e favorendo lo sviluppo di attività imprenditoriali. L'infrastruttura consentirà di fornire informazioni utili alle decisioni di politica ambientale e di gestione del territorio. Una parte fondamentale del progetto riguarda la connessione di quanto si sta sviluppando con altri progetti ambientali, tra cui GMOS.

All'interno di I-AMICA, collaboro sia alla parte di potenziamento che alla formazione rivolta ai Borsisti che il progetto prevede.

Produzione Scientifica

1. Sprovieri, F., Fantozzi, L., Cofone, F., Bencardino, M., Ammoscato, I., **Gensini, M.**, Pirrone, N. (2011) Ten years of ship-borne mercury observations around the Mediterranean Sea Basin. In Proceedings 10th International Conference on Mercury as Global Pollutant. Halifax, Nova Scotia, Canada, 24-29 July, 2011
2. Ianniello, A., Spataro, F., Esposito, G. Amoroso, A. Cofone, F., **Gensini, M.**, Montagnoli, M., Rantica, E., Perilli, M., Sprovieri, F., Pirrone, N. (2010) The determination of gaseous and particulate species by means diffusion denuder technique. Medoceanor Project: “Aldebran” cruise campaign on board the “Urania” research vessel-CNR. Technical Report (Prot. n. 0000313 del 25/1/2010), 1-36.
3. Cofone, F., **Gensini, M.**, Montagnoli, M., Giusto, M., Esposito, G., (2009) Monitoraggio della Qualità dell'aria eseguito mediante mezzo mobile in località Nera Montoro – Narni. Rapporto Tecnico CNR/IIA/2009/1505

Bibliografia

1. Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28/03/83. Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno.
2. DM n.126 del 20/05/91. Criteri per l'elaborazione dei piani regionali per il risanamento e tutela della qualità dell'aria.
3. DM 06/05/92. Definizione del sistema finalizzato al controllo ed assicurazione di qualità dei dati di inquinamento atmosferico ottenuti dalle reti di monitoraggio.
4. DM 15/04/94. Inquinanti atmosferici in aree urbane: livelli e stati di attenzione e di allarme, modif. da DM 60/02.
5. L. n.413/97. Misure urgenti per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico da benzene.
6. DM n.163 21/04/99. Obbligo di effettuare la valutazione preliminare della qualità dell'aria, modif. da DM 60/02.
7. D.Lgs. n.351/99. Attuazione della DIR 96/62/CE.
8. DM n.60 del 02/04/2002. Recepimento della DIR 99/30/CE concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della DIR 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio.
9. Decreto n.261 del 01/10/02. Direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli artt. 8 e 9 del D.Lgs. N.351/99.
10. L. n.549/93. Misure a tutela dell'ozono stratosferico.
11. DM n.163 del 06/05/96. Attivazione di un sistema di sorveglianza di inquinamento da ozono.
12. L. n.120 del 01/06/02. Ratificazione del Protocollo di Kyoto.
13. Decreto Legislativo n.155 del 13 agosto 2010. Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa.
14. Decisione 81/462/CEE del Consiglio, del 11 giugno 1981, relativa alla conclusione della convenzione sull'inquinamento atmosferico

transfrontaliero a grande distanza.

15. Decisione 2004/259/CE del Consiglio, del 19 febbraio 2004, relativa alla conclusione, a nome della Comunità europea, del protocollo sugli inquinanti organici persistenti della convenzione del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza.
16. Decisione 2003/507/CE del Consiglio, del 13 giugno 2003, relativa all'adesione della Comunità europea al protocollo della convenzione del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza per la riduzione dell'acidificazione, dell'eutrofizzazione e dell'ozono troposferico.
17. Decisione 2001/379/CE del Consiglio, del 4 aprile 2001, relativa all'approvazione, a nome della Comunità europea, del protocollo della convenzione del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza relativo ai metalli pesanti.
18. Decisione 98/686/CE del Consiglio, del 23 marzo 1998, relativa alla conclusione da parte della Comunità europea del protocollo della convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza del 1979, relativo ad una nuova riduzione delle emissioni di zolfo.
19. Decisione 93/361/CEE del Consiglio, del 17 maggio 1993, concernente l'adesione della Comunità al protocollo della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza, del 1979, relativo alla lotta contro le emissioni d'ossidi di azoto o ai loro flussi transfrontalieri.
20. Decisione 86/277/CEE del Consiglio, del 12 giugno 1986, concernente la conclusione del protocollo alla convenzione del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a grande distanza, relativo al finanziamento a lungo termine del programma concertato di sorveglianza continua e di valutazione del trasporto a grande distanza degli inquinanti atmosferici in Europa (EMEP).
21. Decisione n. 1982/2006/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, concernente il settimo programma quadro della Comunità europea per le attività di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione (2007-2013)
22. Decisione n. 1983/2006/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 18 dicembre 2006, relativa all'anno europeo del dialogo interculturale (2008)

23. http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html
24. http://ec.europa.eu/index_en.htm
25. Sjödin A. and Ferm M. Measurements of Nitrous acid in an urban area, *Atmospheric Environments*, 19, 985-992, 1985.
26. Bencardino, M., Sprovieri, F. Cofone, F., and Pirrone, N. (2011) Variability of Atmospheric Aerosol and Ozone Concentrations at Marine, Urban, and High-Altitude Monitoring Stations in Southern Italy during the 2007 Summer Saharan Dust Outbreaks and Wildfire Episodes. *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 61; pp. 952-967. doi: 10.1080/10473289.2011.599279.
27. Fantozzi, L., Sprovieri, F., Gratz, L., Ammoscato, I., Cofone, F., Pirrone, N. (2011) Cycling of Dissolved Gaseous Mercury in the Eastern Mediterranean Basin. In *Proceedings 10th International Conference on Mercury as Global Pollutant*. Halifax, Nova Scotia, Canada, 24-29 July, 2011.
28. Horvat, M., Pirrone, N., Cossa, D., Sprovieri, F., Hedgecock, I.M., Cinnirella, S., Kotnik, J., Ogrinc, N., Rajar, R., Barbone, F., Heimbürger, L.E. (2011) Mercury in the Mediterranean: Status, Impacts and Policy Implications. In *Proceedings 10th International Conference on Mercury as Global Pollutant*. Halifax, Nova Scotia, Canada, 24-29 July, 2011.
29. Kotnik, J., Horvat, M., Ogrinc, N., Fajon, V., Sprovieri, F., Pirrone, N. (2011) Mercury and its species in the Adriatic Sea. In *Proceedings 10th International Conference on Mercury as Global Pollutant*. Halifax, Nova Scotia, Canada, 24-29 July, 2011.
30. Pirrone, N., Cinnirella, S., Ebinghaus, R., Horvat, M., Munthe, J., Pacyna, J., Matthias, V., Sprovieri, F., Travnikov, O. (2011) The Global Mercury Observation System (GMOS). In *Proceedings 10th International Conference on Mercury as Global Pollutant*. Halifax, Nova Scotia, Canada, 24-29 July, 2011.
31. Bencardino, M., Cofone, F., Manna, G., Sprovieri, F., Pirrone, N. (2010) Spatial Variation and Chemical Composition of PM_{2.5-10} and PM_{2.5} Across the Mediterranean Sea Basin During two Cruise Campaigns. In *Proceedings of 15th International Conference on Heavy Metals in the Environment*, Gdansk, Poland, 19-23 September 2010, pp. 273-276
32. Brown, R.J.C., Pirrone, N., van Hoek, C., Horvat, M., Kotnik, J.,

- Wangberg, I., Corns, W. T., Bieber, E. Sprovieri, F. (2010) Standardisation of a European measurement method for the determination of mercury in deposition: results of the field trial campaign and determination of a measurement uncertainty and working range. Accreditation and Quality Assurance. doi:10.1007/s00769-010-0636-2.
33. Brown, R.J.C., Pirrone, N. van Hoek, C. Sprovieri, F., Fernandez, R. and Tote, K. (2010) Standardization of a European measurement method for the determination of total gaseous mercury: results of the field trial campaign and determination of a measurement uncertainty and working range. *Journal of Environmental Monitoring*, doi:10.1039/b924955a.
 34. Pirrone, N., Hedgecock, I.M., Cinnirella, S. and Sprovieri, F. (2010) Overview of major processes and mechanisms affecting the mercury cycle on different spatial and temporal scales. In: *From the Global Mercury Cycle to the Discoveries of Kuiper Belt Objects* Claude Boutron (Ed.), EPJ Web of Conferences, Vol. 9, Grenoble, France. ISBN:978-2-7598-0599-0
 35. Sprovieri, F., Hedgecock, I.M. and Pirrone, N. (2010) An investigation of the origins of reactive gaseous mercury in the Mediterranean marine boundary layer. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 10, pp.3985-3997.
 36. Sprovieri, F., Pirrone, N., Ebinghaus, R., Kock, H., and Dommergue, A. (2010) A review of worldwide atmospheric mercury measurements. *Atmos. Chem. Phys.* 10, 8245-8265.
 37. Cinnirella S., March D., O'Higgins T., Murciano C., Sarda R., Albaiges J., Pirrone N., (2012) A multidisciplinary Spatial Data Infrastructure for the Mediterranean to support the implementation of the Marine Strategy Framework Directive. *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 2012, Vol.7.
 38. D'Amore, F., Cinnirella, S., Pirrone, N. (2011) Architecture solution for air quality management through a dedicated SDI Geophysical Research Abstracts, Vol. 13 EGU2011-7113, 2011 EGU General Assembly 2011