

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria

analizzatori di SO₂ e NO_x

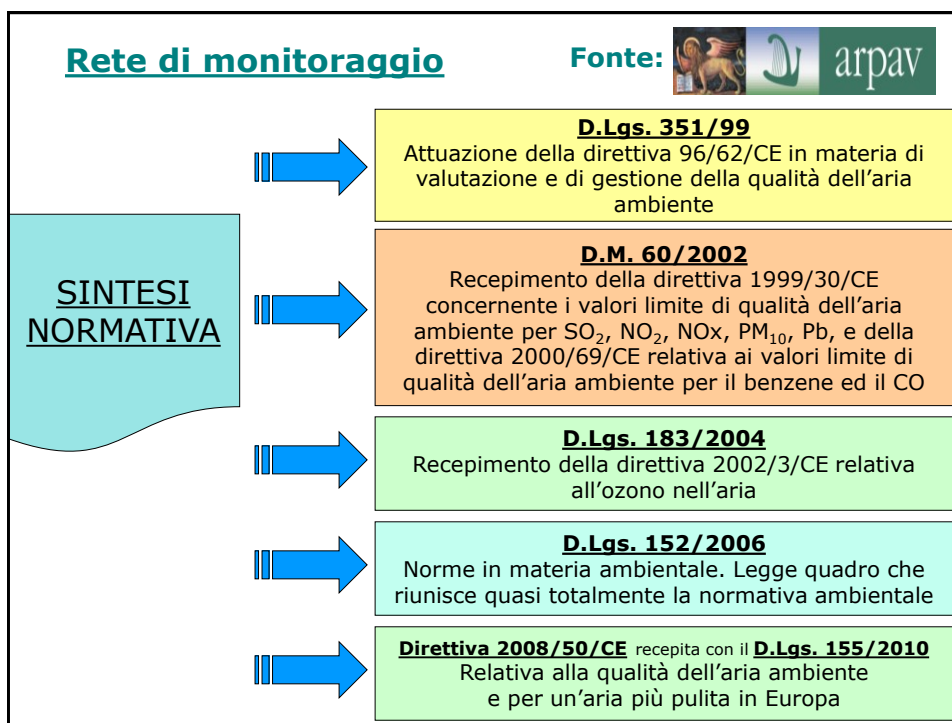
a cura del prof. A. Tapparo
A.A. 2023-24

in collaborazione con

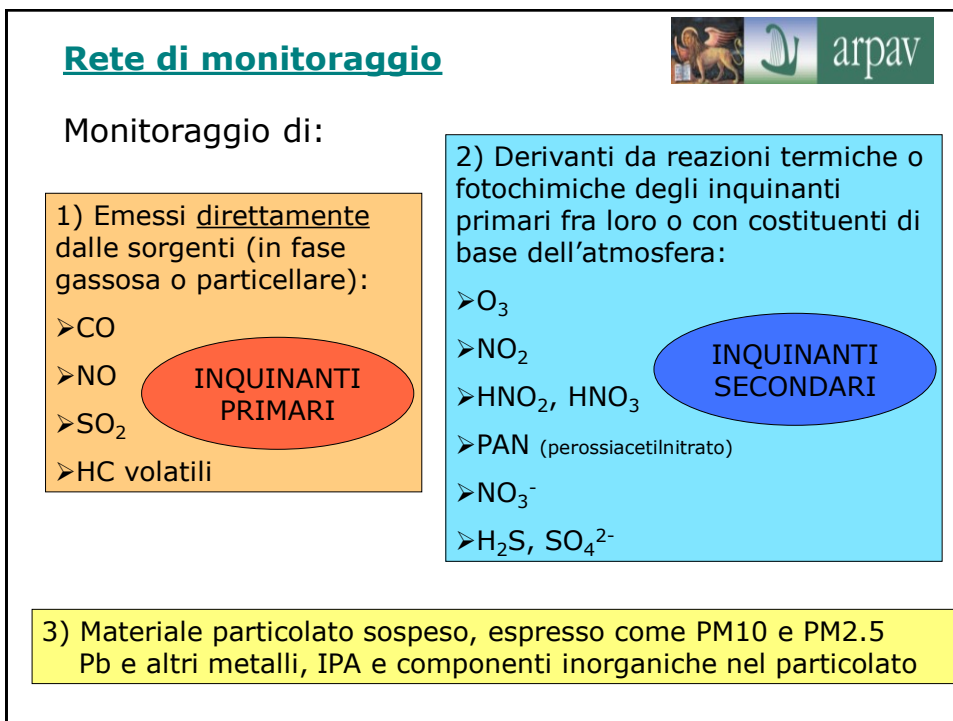


E-learning moodle: <https://stem.elearning.unipd.it/course/view.php?id=8615>

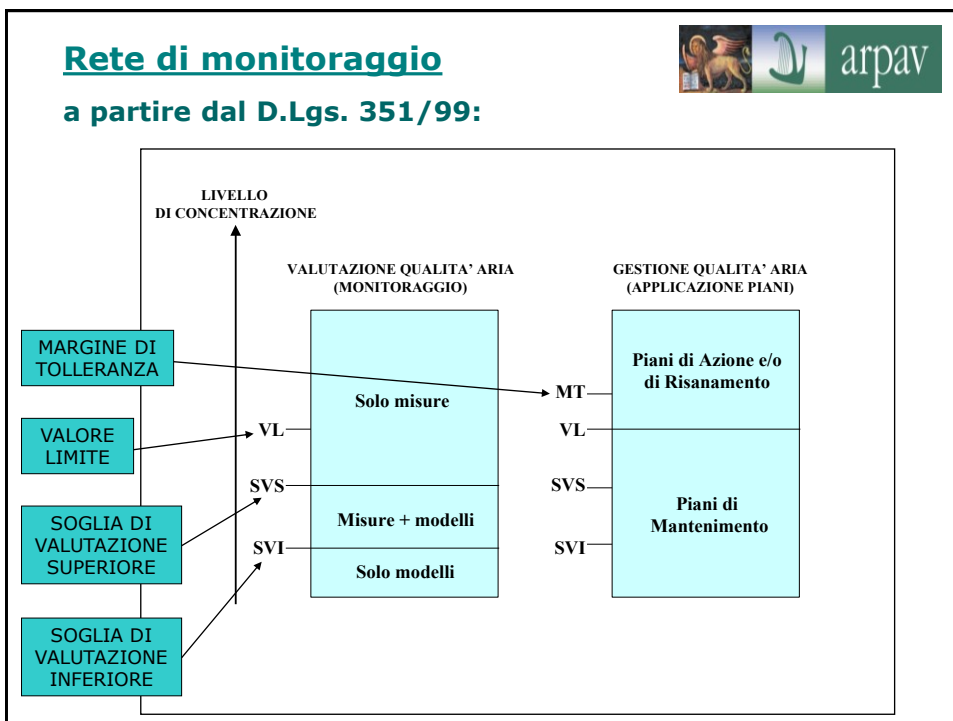
1



2



3



4

Rete di monitoraggio stazioni fisse



SENSORI METEO

- Direzione del vento
- Velocità del vento
- Umidità
- Pressione atmosferica



INQUINANTI MONITORATI

- CO
- NO – NO₂
- BENZENE
- SO₂
- PM₁₀ + PM_{2,5}
- O₃



5

Rete di monitoraggio stazioni mobili



SENSORI METEO

- Direzione del vento
- Velocità del vento
- Umidità
- Pressione atmosferica

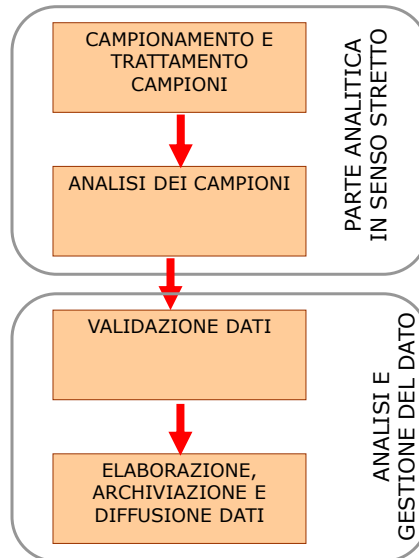


ANALIZZATORI

- CO
- NO – NO₂
- BENZENE
- SO₂
- PM₁₀ + PM_{2,5}
- O₃

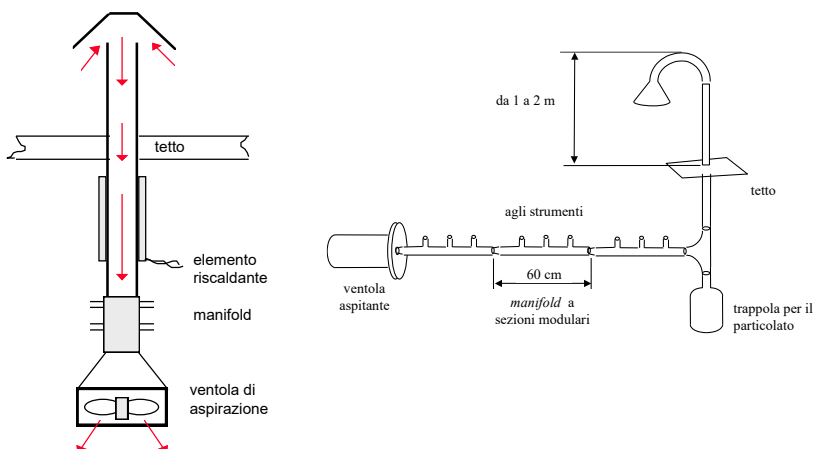
6

Processo di rilevamento in una rete di monitoraggio



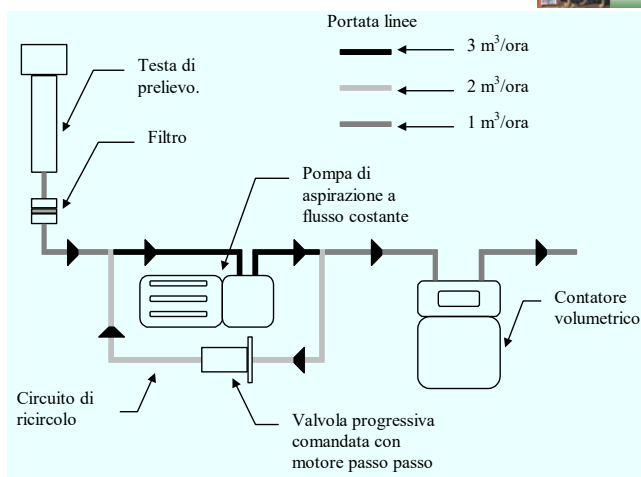
7

Condotto/sonda di prelievo per inquinanti gassosi



8

Linea di prelievo per il materiale particolato



I contatori volumetrici più diffusi sono costituiti da un contatore rigido diviso in due parti da una membrana impermeabile e da un meccanismo di conteggio collegato.

9

Come per le precedenti normative, anche il D.Lgs 155/2010 dispone le metodiche analitiche di riferimento per la misura degli inquinanti di interesse ai fini della valutazione della qualità dell'aria



Metodo di riferimento per l'analisi del biossido di zolfo

ISO/FDIS 10498 (Progetto di norma) Aria ambiente - Determinazione del biossido di zolfo - Metodo a fluorescenza pulsata (DM 60/02)

Metodo di riferimento per l'analisi del biossido di azoto e degli ossidi di azoto

ISO 7996: 1985 Aria ambiente - Determinazione delle concentrazioni degli ossidi di azoto - Metodo a chemiluminescenza. (DM 60/02)

Metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione delle PM10

Il metodo di riferimento per il campionamento e la misurazione delle PM10 è quello descritto nella norma EN 12341. Il principio di misurazione si basa sulla raccolta su un filtro della frazione PM10 delle particelle e sulla determinazione della massa gravimetrica. (DM 60/02)

10



Metodo di riferimento per il campionamento e l'analisi del benzene

Il metodo di riferimento per misurare il benzene è il metodo di campionamento a pompaggio su una cartuccia di assorbente seguito dalla determinazione per cromatografia gassosa che il CEN sta normalizzando. (DM 60/02) – (DM 25/11/94 - canister)

Metodo di riferimento per l'analisi del monossido di carbonio

Il metodo di riferimento per misurare il monossido di carbonio è quello dello spettrofotometria nell'infrarosso. (DM 60/02)

Metodo di riferimento per l'analisi dell'ozono

Per la determinazione dell'ozono, il metodo di riferimento da utilizzare è il metodo dell'assorbimento UV. La normalizzazione di questo metodo è in corso presso l'ISO. Metodo di riferimento nella Direttiva 3/2002/CE

11

Inquinanti atmosferici controllati per legge

(Direttiva comunitaria 2008/50/CE)

<u>Diossido di zolfo</u>	<u>SO₂</u>
Ossido di carbonio	CO
Ossidi di azoto	NO + NO ₂ ("NO _x ")
Ozono	O ₃
Particolato fine	PM ₁₀ e PM _{2.5}
Benzene	C ₆ H ₆
Piombo	(composti di Pb)

12

Origine di SO₂

Fenomeni naturali: emissioni vulcaniche, incendi di foreste, ossidazione di composti volatili dello zolfo (processi secondari, vedi sotto)

Processi antropici:

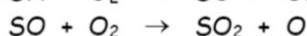
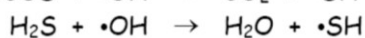
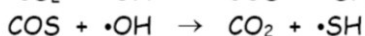
- combustione di materiali contenenti zolfo (soprattutto carbone, ma anche petrolio e altri materiali)
- processi industriali (per esempio, "arrostimento della pirite")

Per quanto riguarda la formazione di SO₂ secondario, si ricorda che:

Lo zolfo di origine organica è sempre in forma ridotta:



e viene ossidato a SO₂ per reazione con •OH e con O₂ (e anche con •NO₂ e con O₃):



13

Origine di SO₂

Fenomeni naturali: emissioni vulcaniche, incendi di foreste, ossidazione di composti volatili dello zolfo (processi secondari, vedi sotto)

Processi antropici:

- combustione di materiali contenenti zolfo (soprattutto carbone, ma anche petrolio e altri materiali)
- processi industriali (per esempio, "arrostimento della pirite")

Si può calcolare (o stimare) la quantità di SO₂ emessa annualmente dalle varie fonti emissive? Ad esempio da:

- uno specifico impianto (es. centrale termoelettrica)
- una determinata tipologia di impianti (es. tutti gli impianti di produzione di energia presenti in Italia)
- un intero paese (quantità totale emessa/anno in Italia)

Le emissioni di SO₂ (e di numerosi altri inquinanti) vengono stimate, in ottemperanza a norme CE e ad accordi internazionali (si può citare in proposito la **Convenzione di Ginevra del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero**). Le stime vengono effettuate utilizzando metodologie validate (la più nota è la metodologia CORINAIR) attribuendo dei "fattori di emissione" a ciascuna delle attività che possono dar luogo all'emissione dell'inquinante considerato e valutando le "dimensioni" dell'attività stessa.

14

Stima delle emissioni di inquinanti in atmosfera

La quantità di inquinante immesso in atmosfera annualmente in Italia da attività antropiche viene stimata in base ai dati forniti dai singoli impianti emissivi censiti ed autorizzati in Italia. L'approccio è tipicamente modellistico, ovvero si basa sui dati progettuali di impianto (fattore emissivo) e sulla produttività dell'impianto nell'anno di interesse. Questi dati costituiscono la base dell'**Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera**, compilato e gestito da **ISPRA**.

<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/aria-1/emissioni-in-atmosfera>

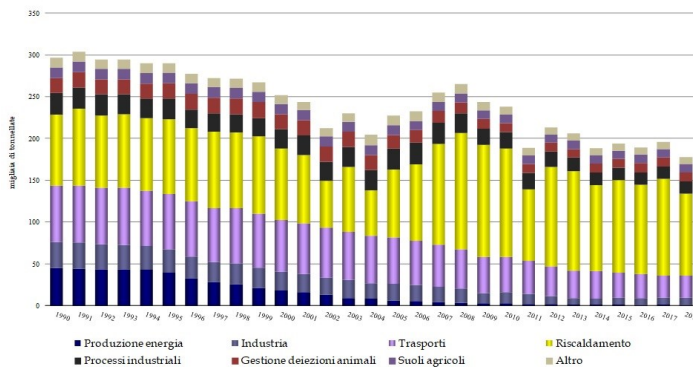
The screenshot shows the ISPRA website interface. At the top, there is a navigation bar with the ISPRA logo and the text 'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale'. Below this is a main menu with items like 'Home', 'Istituto', 'Attività', 'Servizi', 'Dati e Indicatori', 'News', 'Eventi ISPRA', 'Sala stampa', and 'URP'. The main content area features a header 'Emissioni in atmosfera' and a sub-header 'Registri delle emissioni'. Below this, there is a section titled 'Dichiarazione PRTR 2020 (dati 2019)'. The main text discusses the importance of atmospheric emissions and the role of the National Emission Inventory. A section titled 'L'inventario delle emissioni' explains that ISPRA, as a National Reference Centre of the European Environment Agency (EEA), implements the National Emission Inventory to verify Italy's commitments under international agreements like the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) and the EU National Emission Ceilings Directive. It notes that the inventory is a complex process involving various stakeholders and is updated annually.

15

Inventario Nazionale delle Emissioni in Atmosfera

La stima delle emissioni in atmosfera (sia antropiche che biogeniche) si basa su metodologie consolidate (CORINAIR in passato, ora si fa riferimento alla "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019") in attuazione di Convenzioni internazionali quali "UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)" e "EU National Emission Ceilings Directive". Gli inquinanti considerati nell'inventario sono quelli che contribuiscono ai processi di acidificazione e di eutrofizzazione (SO_2 , NO_x , COVNM, NH_3), nonché benzene, PM10, PM2.5, i principali metalli come Pb, Cd, Hg e sostanze organiche persistenti come diossine e IPA. Le serie storiche delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici e i documenti in cui sono descritte le metodologie utilizzate per la stima vengono pubblicate annualmente. ISPRA realizza ogni 5 anni la disaggregazione provinciale dell'inventario nazionale in modo da produrre una rappresentazione uniforme delle fonti di emissione nelle province italiane.

EMISSIONI NAZIONALI DI PM10 PRIMARIO



16

Emissioni di SOx in atmosfera in Italia, anno 2018

fonte: ISPRA, Inventario Nazionale delle Emissioni

SOx, emissioni 2018 (espresse come SO₂, Mg = t)

Tipologia emissiva di SOx	quantità emessa, t	
Processi di combustione con contatto	22758.7	20.6%
Attività marittime	21692.4	19.7%
Industria petrolifera	15642.3	14.2%
Centrali elettriche e di cogenerazione pubbliche	6858.6	6.2%
Processi nelle industrie chimiche inorganiche	6338.5	5.7%
Raffinerie	6133.7	5.6%
Residenziale	6064.3	5.5%
Proc. ind. legno/pasta-carta/alim./bevande e altre industrie	5790.0	5.3%
Terziario	4296.5	3.9%
Incenerimento rifiuti	4201.1	3.8%
Combustione in caldaie turbine a gas e motori fissi	2189.1	2.0%
Teleriscaldamento	2000.0	1.8%
Siderurgico	1937.4	1.8%
Forni di processo senza contatto	1481.3	1.3%
Proc. nelle ind. del ferro/acciaio e nelle miniere di carb.	1395.5	1.3%
Aeroporti (LTO)	560.84	0.5%
Automobili	265.4	0.2%
Incendi foreste e altra vegetazione	252.5	0.2%
Processi nelle industrie chimiche org. (anidride ftalica)	150.5	0.1%
... numerose altre attività con minori emissioni di SOx		
Totale emissioni antropiche	110 265 t	
Attività Vulcanica	943 444 t	

Il contributo naturale è nettamente maggioritario rispetto al contributo antropico

17

Emissioni in atmosfera di SOx in Italia

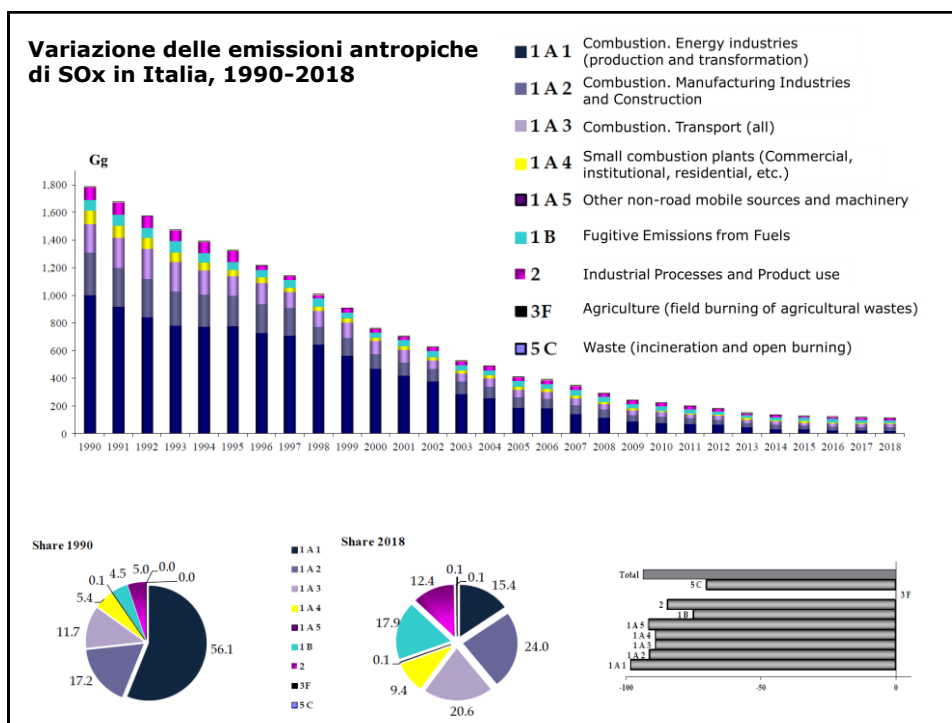
Contributo antropico e da attività vulcanica (Gg/anno = 10³ t/anno, di SO₂)

fonte: ISPRA, Inventario Nazionale delle Emissioni

Anno	Totale emesso	Emissioni vulcaniche	Emissioni antropiche
1980	9207	5770	3437
1990	10122	8327	1795
2000	6500	5745	755
2010	1161	943	218
2018	1053	943	110

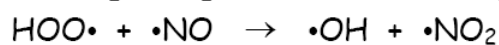
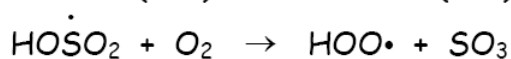
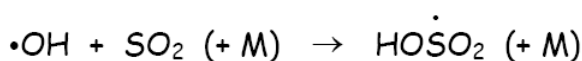
Le emissioni antropiche di SOx sono nettamente diminuite negli ultimi 40 anni

18

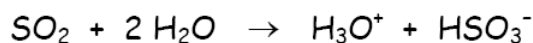


19

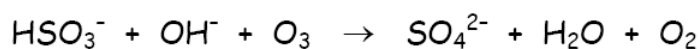
Il destino finale è l'ossidazione ad SO₃ e la formazione di acido solforico:



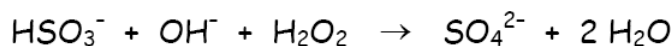
Reazioni in fase acquosa:



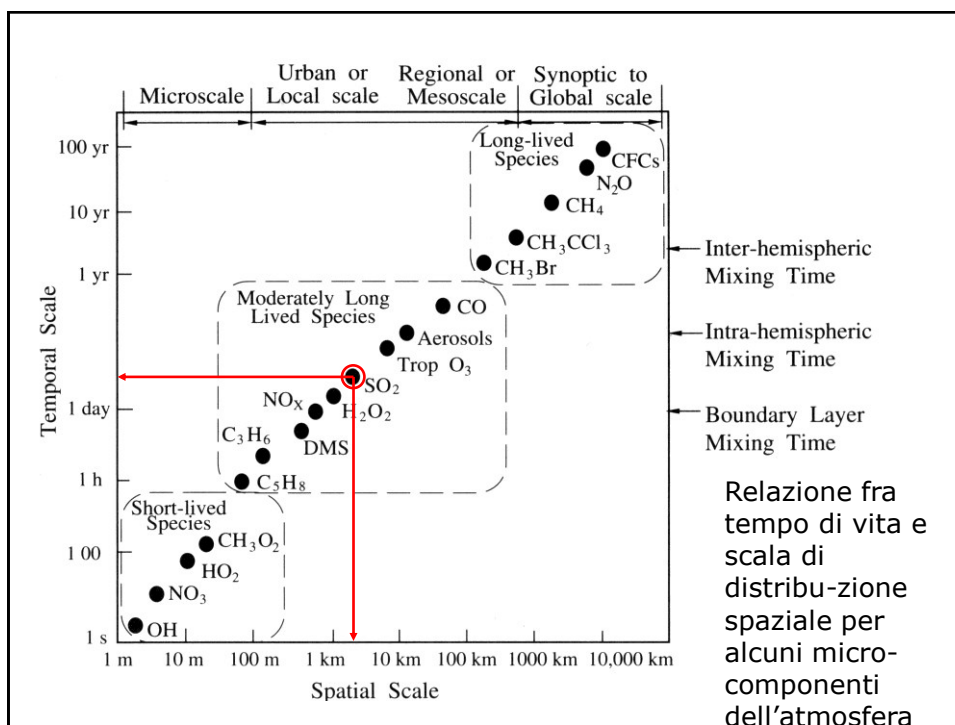
seguita da



o da



20



21

La Direttiva europea 2008/50/CE fissa i valori limite di concentrazione di SO_2 che non devono essere superati ai fini della protezione della salute umana:

350 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ come media su di un'ora
(non più di 24 superamenti l'anno)

125 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ come media su un giorno
(non più di 3 superamenti l'anno)

È inoltre prevista una soglia di allarme:

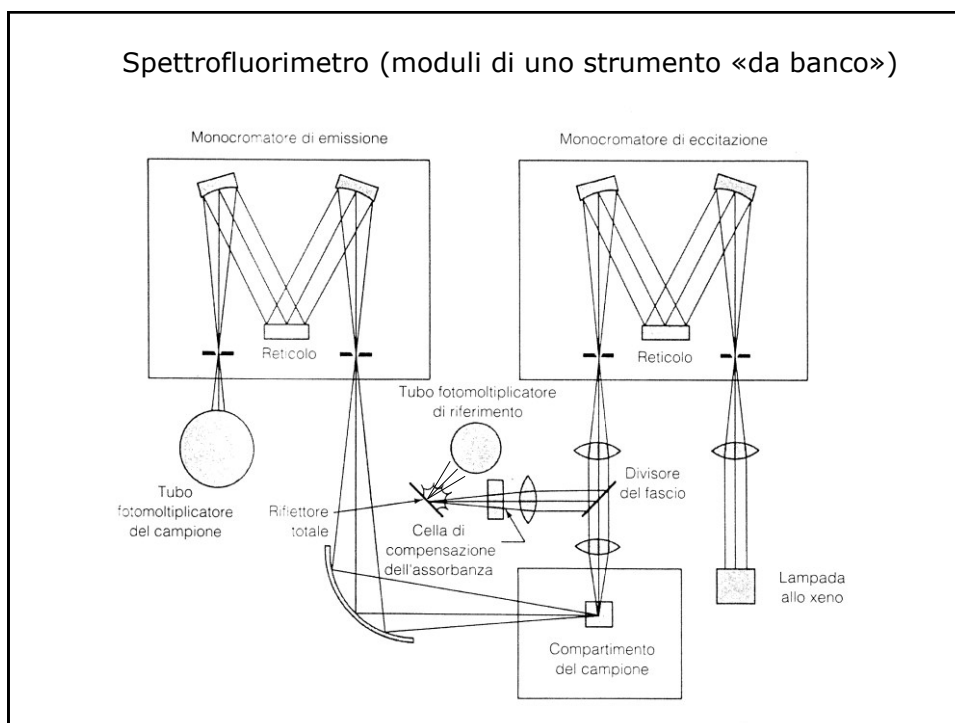
500 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ per tre ore consecutive, misurati in siti rappresentativi di almeno 100 km^2

La stessa Direttiva prescrive come "metodo di riferimento" per la determinazione della concentrazione di SO_2 un metodo basato sulla fluorescenza nell'ultravioletto:

norma EN 14212:2005 «Ambient air quality – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence».

22

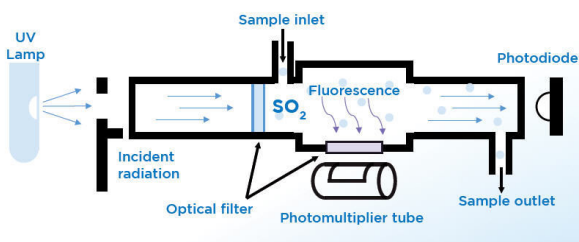
Spettrofluorimetro (moduli di uno strumento «da banco»)



23

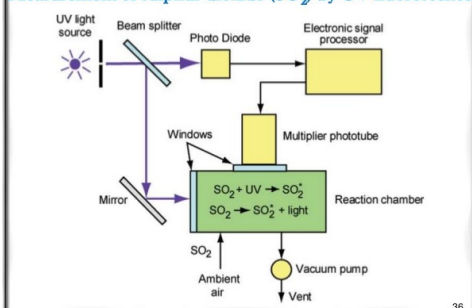
Analizzatore automatico di anidride solforosa (SO₂)

è uno strumento il cui principio di misura è la fluorescenza
si tratta quindi di un fluorimetro selettivo per SO₂.



Acquisizione del segnale di fluorescenza a 90°.
L'intensità del segnale acquisito dal fotomoltiplicatore dipende dalla conc. di SO₂ e dalla potenza della sorgente.

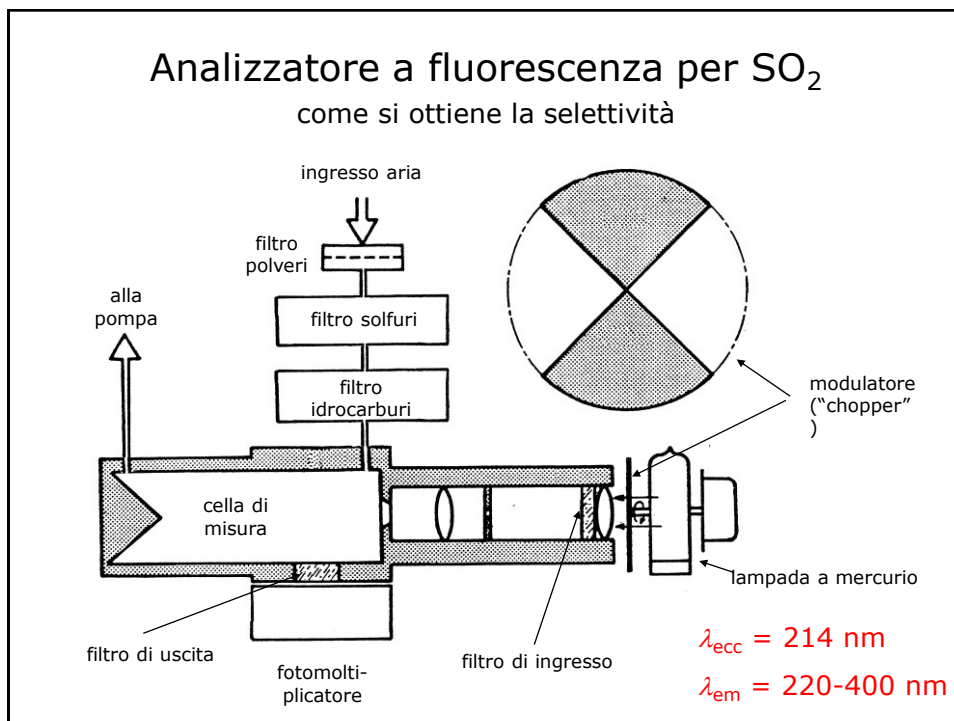
Measurement of sulphur dioxide (SO₂) by UV fluorescence



Spesso si fa riferimento, anche nella normativa, ad uno strumento che utilizza la fluorescenza pulsata.

La strumentazione analitica opera sempre con segnali modulati!!

24



25

La parola "filtro" viene utilizzata nello schema dell'analizzatore con tre significati diversi:

- Il filtro per le polveri è un filtro nel senso più corrente del termine
- I due filtri denominati "di ingresso" e "di uscita" sono dispositivi ottici che consentono il passaggio solo di radiazione compresa entro determinati intervalli di lunghezza d'onda. In particolare, il filtro di ingresso serve a isolare, fra le varie righe emesse dalla lampada a mercurio, la riga a $\lambda = 214 \text{ nm}$; il filtro di uscita serve ad evitare che una frazione anche piccola della radiazione eccitante possa raggiungere il rivelatore.
- I due filtri per idrocarburi e per solfuri sono dei reattori chimici in grado di eliminare le due categorie di composti. Il filtro per idrocarburi contiene V_2O_5 riscaldato a $380 \text{ }^\circ\text{C}$ che catalizza l'ossidazione dei composti organici ad opera dell'ossigeno dell'aria; il filtro per solfuri contiene lana d'argento riscaldata a $120 \text{ }^\circ\text{C}$ che reagisce con il solfuro d'idrogeno e con i mercaptani con formazione di Ag_2S .

26

Specifiche Tecniche dell'analizzatore per il biossido di zolfo

DPCM 30/28.03.1983. Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno

Campo di misura	0-1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Rumore di fondo:	R0 < 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, R80 < 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Limite di rivelabilità	< 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Conc. di biossido di zolfo nell'atmosfera campione per le prove di interferenza	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Equivalente di interferenza per ogni singolo interferente	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Equivalente di interferenza totale	$\pm 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Variazione del segnale di zero per 12 ore, VZ12	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Variazione del segnale di zero per 24 ore, VZ24	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Variazione del segnale di misura a 20% del campo di misura, VM20	$\pm 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Variazione del segnale di misura a 80% del campo di misura, VM80	$\pm 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Tempo di ritardo	< 120 s
Tempo di salita	< 90 s
Tempo di discesa	< 90 s
Precisione al 20% del campo di misura, P20	$\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Precisione a 80% del campo di misura, P80	$\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

27

Inquinanti atmosferici controllati per legge

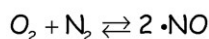
(Direttiva comunitaria 2008/50/CE)

Diossido di zolfo	SO_2
Ossido di carbonio	CO
Ossidi di azoto	$\text{NO} + \text{NO}_2$ ("NO_x")
Ozono	O_3
Particolato fine	PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$
Benzene	C_6H_6
Piombo	(composti di Pb)

28

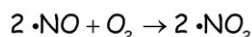
Origine degli ossidi di azoto

L'ossido NO si forma per sintesi diretta nel corso di processi di combustione. La reazione

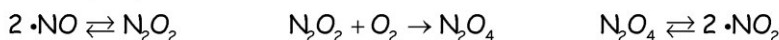


è fortemente endotermica e decorre verso destra in misura apprezzabile solo a temperature molto elevate. Se i gas di combustione vengono raffreddati bruscamente una parte dell'ossido di azoto prodotto sopravvive.

Il diossido NO₂ si forma attraverso la reazione



che è favorita termodinamicamente ma molto lenta, eccetto che a concentrazioni elevate, in quanto avviene con il meccanismo



A bassa concentrazione l'equilibrio fra NO e il dimero N₂O₂ è fortemente spostato verso sinistra, con la conseguenza che l'ossidazione di NO nell'atmosfera avviene solo attraverso processi che coinvolgono altre specie chimiche.

29

Emissioni di NO_x in atmosfera in Italia, anno 2018

fonte: ISPRA, Inventario Nazionale delle Emissioni

NO_x, emissioni 2018 (esprese come NO₂, Mg = t)

Tipologia emissiva di NO _x	quantità emessa, t	
Automobili	155023.2	23.2%
Veicoli pesanti P > 3.5 t e autobus	85644.8	12.8%
Attività marittime	79542.9	11.9%
Processi di combustione con contatto	46207.6	6.9%
Veicoli leggeri P < 3.5 t	45780.3	6.8%
Residenziale	41101.8	6.1%
Terziario	34283.3	5.1%
Off-road Agricoltura	30474.8	4.6%
Coltivazioni senza fertilizzanti	29038.0	4.3%
Centrali elettriche e di cogenerazione pubbliche	25748.7	3.8%
Coltivazioni con fertilizzanti (escl. concimi animali)	19800.2	3.0%
Agricoltura	11750.0	1.8%
Combustione in caldaie turbine a gas e motori fissi	11162.4	1.7%
Raffinerie	9530.9	1.4%
Aeroporti (LTO)	7632.0	1.1%
Industria petrolifera	5377.7	0.8%
Off-road industria	5266.6	0.8%
Motocicli cc > 50 cm ³	3584.2	0.5%
Siderurgico	3188.4	0.5%
Proc. nelle ind. del ferro/acciaio e nelle miniere di carb.	2542.7	0.4%
Teleriscaldamento	2500.0	0.4%
Processi nelle industrie chimiche inorganiche (acido nitrico)	2443.1	0.4%
Militari	2051.2	0.3%
Ferrovie	1847.7	0.3%
Incenerimento di rifiuti agricoli (escl. 103)	1836.4	0.3%
Allevamento di bestiame (deiezioni)	1732.9	0.3%
... numerose altre attività con minori emissioni di NO _x		
Totale emissioni antropiche	669 157 t	

Il contributo naturale (incendi) è poco significativo rispetto al contributo antropico

30

Emissioni di ossidi di azoto da fonti industriali
(non direttamente legate a combustioni)
(Italia 2006)
(Valori espressi in Mg)

Industria petrolifera	6687.00	0.63%
Industrie chimiche inorganiche	3106.39	0.29%
Industrie del ferro e dell'acciaio e miniere di carbone	2584.35	0.24%
Industrie dei metalli non ferrosi	549.17	0.05%
Industria del legno, della pasta per carta, degli alimenti, ecc	157.50	0.01%
Industrie chimiche organiche	20.30	0.00%

Fonte: Sistema Informativo Nazionale Ambientale

31

Emissioni in atmosfera di NOx in Italia

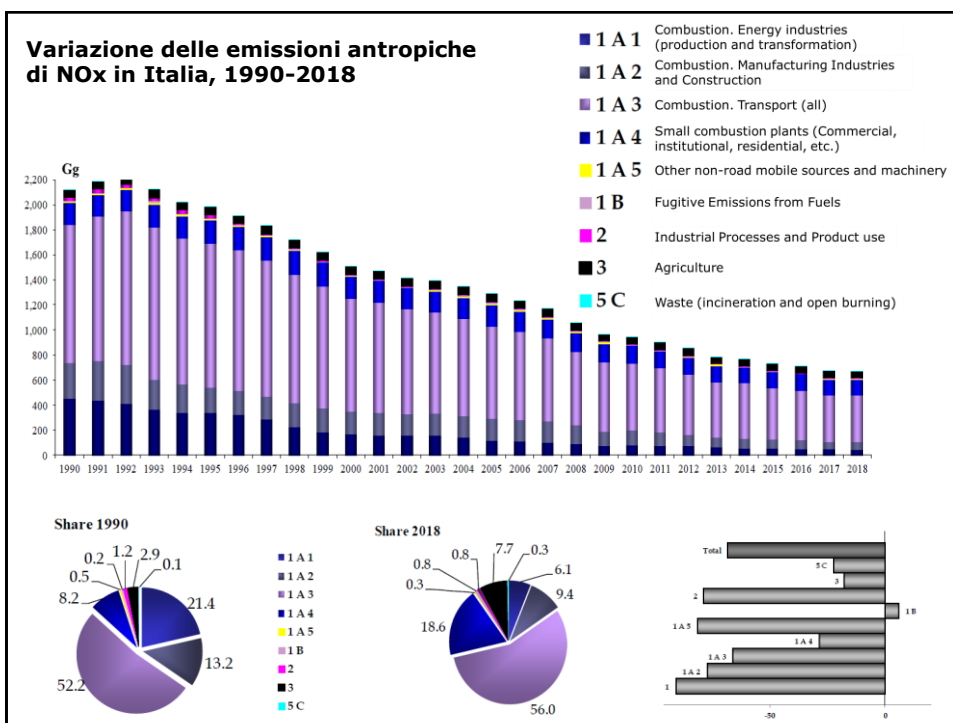
Contributo antropico e naturale (Gg/anno = 10³ t/anno, di NO₂)

fonte: ISPRA, Inventario Nazionale delle Emissioni

Anno	Totale emesso	Em. naturali (incendi)	Emissioni antropiche
1980	1801	45	1756
1990	2160	37	2123
2000	1526	21	1505
2010	957	13	944
2018	674	5	669

Anche le emissioni antropiche di NOx sono nettamente diminuite negli ultimi 40 anni

32



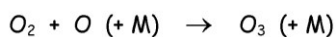
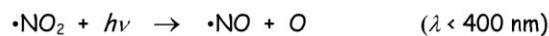
33

Il destino finale degli ossidi di azoto è l'ossidazione ad acido nitrico (o a nitrati), con successiva deposizione.

Il loro tempo di permanenza nell'atmosfera è dell'ordine di un giorno.

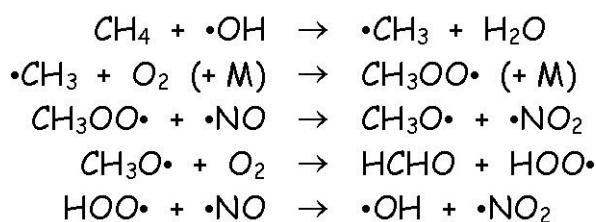
Gli ossidi di azoto hanno un ruolo estremamente importante nei processi chimici che si svolgono nell'atmosfera.

Ricordiamo in particolare che la reazione di fotolisi di NO_2 costituisce la principale fonte di ozono nella troposfera.

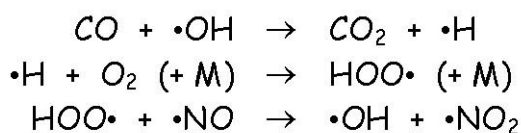


34

Ossidazione del metano

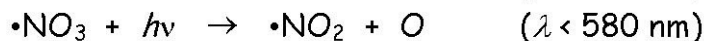
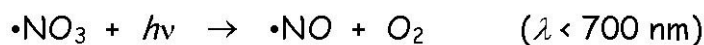
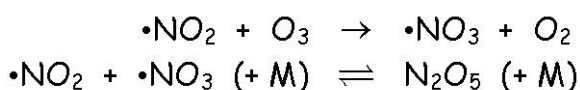


Ossidazione dell'ossido di carbonio

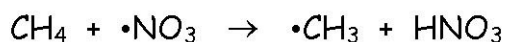


35

Chimica del radicale nitrato



Reazione fra radicale nitrato e alcani

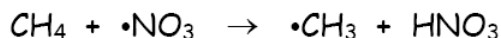


(seguono tutte le altre reazioni viste nel caso della reazione degli alcani con il radicale perossido)

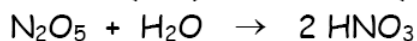
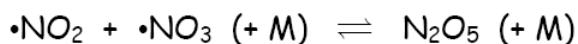
36

Destino del radicale nitrato

Formazione di acido nitrico per reazione con gli alcani



o a seguito delle due reazioni



(la seconda avviene in soluzione acquosa). L'acido nitrico subisce facilmente deposizione.

Formazione di nitrati, suscettibili di deposizione, a seguito della reazione con alcheni:



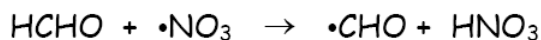
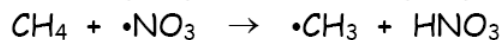
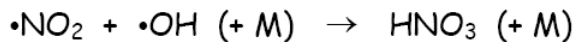
37

Acido nitrico

Formazione in soluzione acquosa:

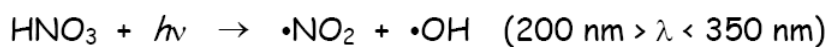


Formazione in fase gassosa:



Eliminazione:

Processi fotolitici - per esempio:



Deposizione (secca o umida)

38

La Direttiva europea 2008/50/CE prevede il controllo del diossido di azoto e degli "ossidi di azoto", definiti come "la somma dei rapporti di mescolamento in volume di monossido di azoto e di diossido di azoto espressa in unità di concentrazione di massa di diossido di azoto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)". Gli "ossidi di azoto" così definiti vengono comunemente indicati come NO_x .

Per il diossido di azoto vengono fissati due valori limite ai fini della protezione della salute umana:

- Media su 1 ora: $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare più di 18 volte per anno civile
- Media su un anno civile: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$

È inoltre prevista una soglia di allarme:

- $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tre ore consecutive, misurati in siti rappresentativi di almeno 100 km^2

Per gli ossidi di azoto è previsto un limite per la protezione della vegetazione:

- Media su un anno civile: $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Il metodo di riferimento per la misurazione del diossido di azoto e degli ossidi di azoto è descritto nella norma

EN 14211:2005 «Ambient air quality — Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence».

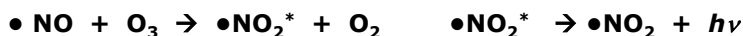
39

La chemiluminescenza

Le specie molecolari prodotte da una reazione esotermica si trovano normalmente in uno stato eccitato e si diseccitano cedendo l'energia in eccesso ad altre molecole (in definitiva, con produzione di calore).

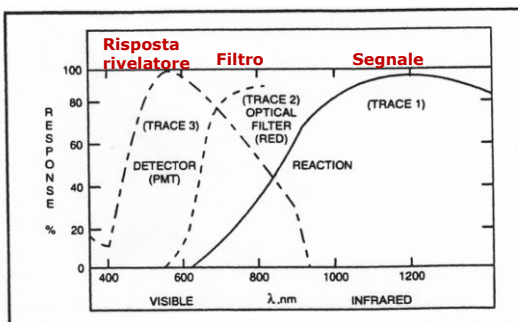
In casi particolari la diseccitazione può avvenire attraverso l'emissione di un fotone, dando luogo al fenomeno della chemiluminescenza.

Nel caso della reazione fra NO ed ozono si ha



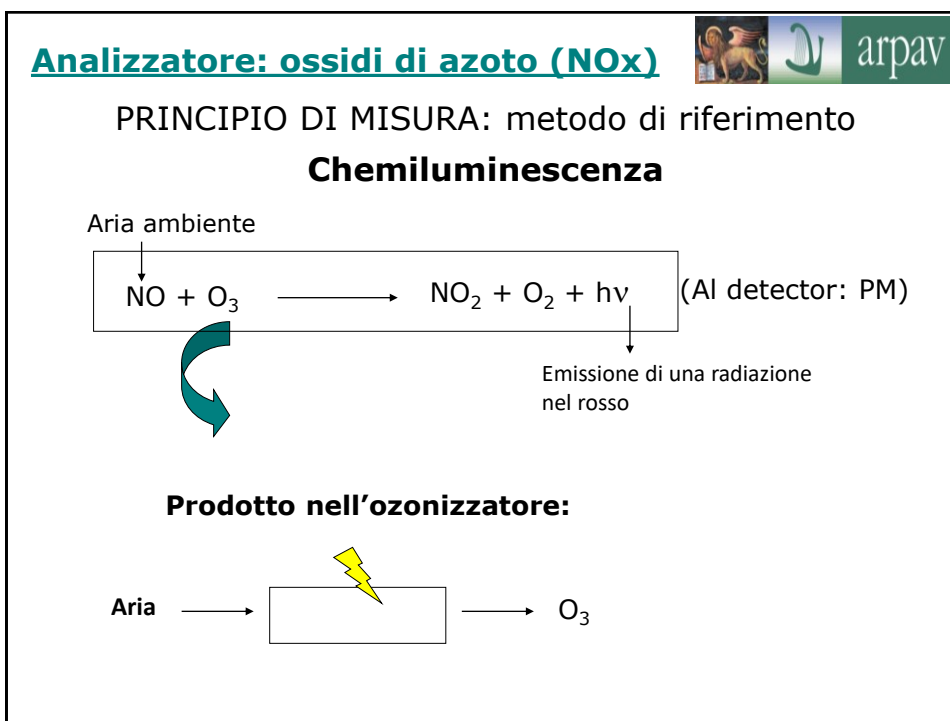
dove $h\nu$ rappresenta un fotone in una banda estesa fra 590 e 3000 nm e con il massimo a $\sim 1200 \text{ nm}$.

Poiché l'efficienza di rivelazione è nettamente migliore nel visibile, negli strumenti convenzionali la rivelazione avviene nell'intervallo 600-900 nm, impiegando un filtro pass-alto.

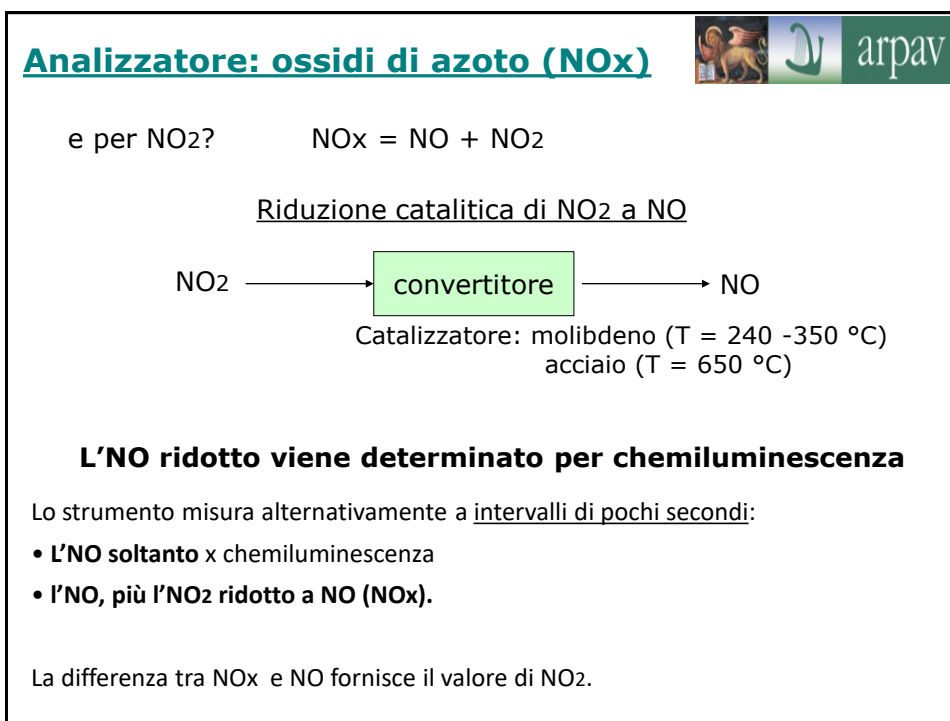


Spectral Response Curves (Kita, D., Chemiluminescence (CHEMIL) Analyzers)

40

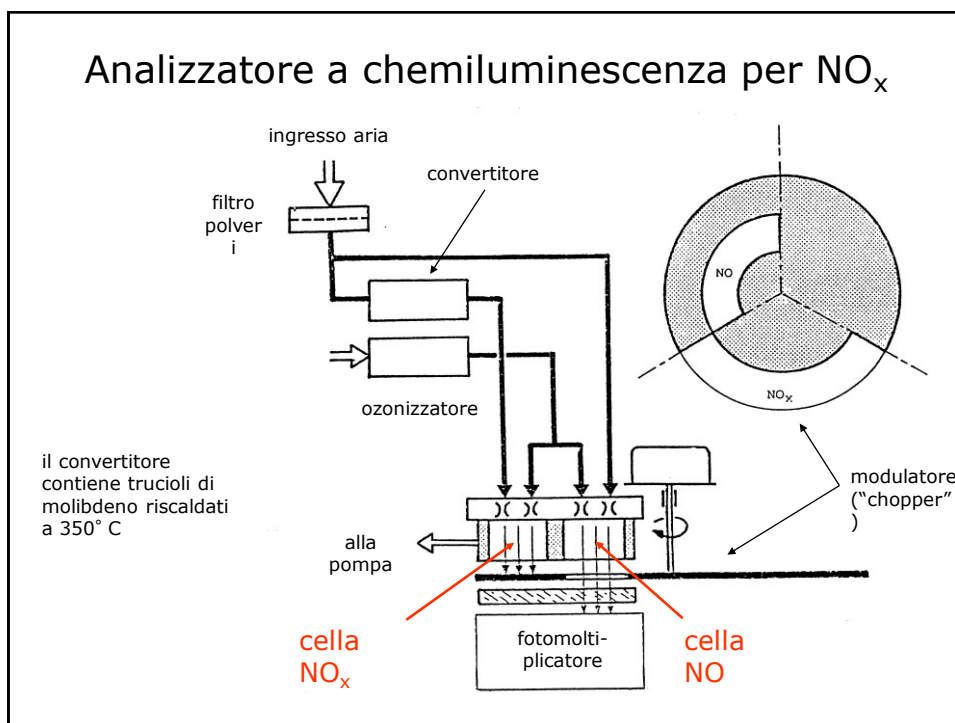


41



42

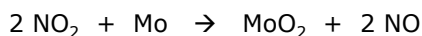
Analizzatore a chemiluminescenza per NO_x



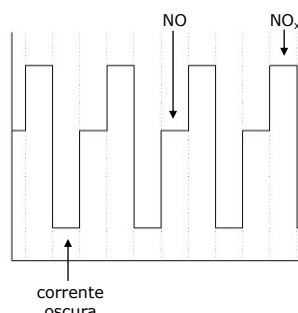
43

Per la determinazione di NO l'aria in esame viene miscelata in una cella di reazione con aria contenente ozono, prodotto per irraggiamento con radiazione UV oppure mediante scariche elettriche. La radiazione di fotoluminescenza viene misurata mediante un tubo fotomoltiplicatore.

Per le determinazioni di NO_x (NO + NO₂) l'aria viene inviata in una seconda cella di reazione dopo essere stata fatta passare in un reattore contenente trucioli di molibdeno riscaldati a 350 °C, nel quale il diossido di azoto viene ridotto ad ossido:



Un modulatore invia sul fotomoltiplicatore la radiazione proveniente da una o dall'altra delle due celle; in un terzo tempo la radiazione viene bloccata per consentire la determinazione della corrente oscura.



44

Specifiche Tecniche dell'analizzatore per il biossido di azoto

DPCM 30/28.03.1983. Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni
e di esposizione reattivi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno

Campo di misura	0-1 ppm
Rumore di fondo:	R0 < 0.005 ppm, R80 < 0.005 ppm
Limite di rivelabilità	< 0.010 ppm
Conc. di biossido di azoto nell'atmosfera campione per le prove di interferenza	0.1 ppm
Equivalente di interferenza per ogni singolo interferente	±0.010 ppm
Equivalente di interferenza totale	± 0.020 ppm
Variazione del segnale di zero per 12 ore, VZ12	±0.010 ppm
Variazione del segnale di zero per 24 ore, VZ24	± 0.020 ppm
Variazione del segnale di misura a 20% del campo di misura, VM20	± 0.010 ppm
Variazione del segnale di misura a 80% del campo di misura, VM80	± 0.010 ppm
Tempo di risposta	< 120 s (per analizzatori in continuo)
Tempo di salita	< 90 s (per analizzatori in continuo)
Tempo di discesa	< 90 s (per analizzatori in continuo)
Precisione al 20% del campo di misura, P20	± 0.010 ppm
Precisione a 80% del campo di misura, P80	± 0.015 ppm