

Metodologie Bioanalitiche Ambientali con Lab Mod A

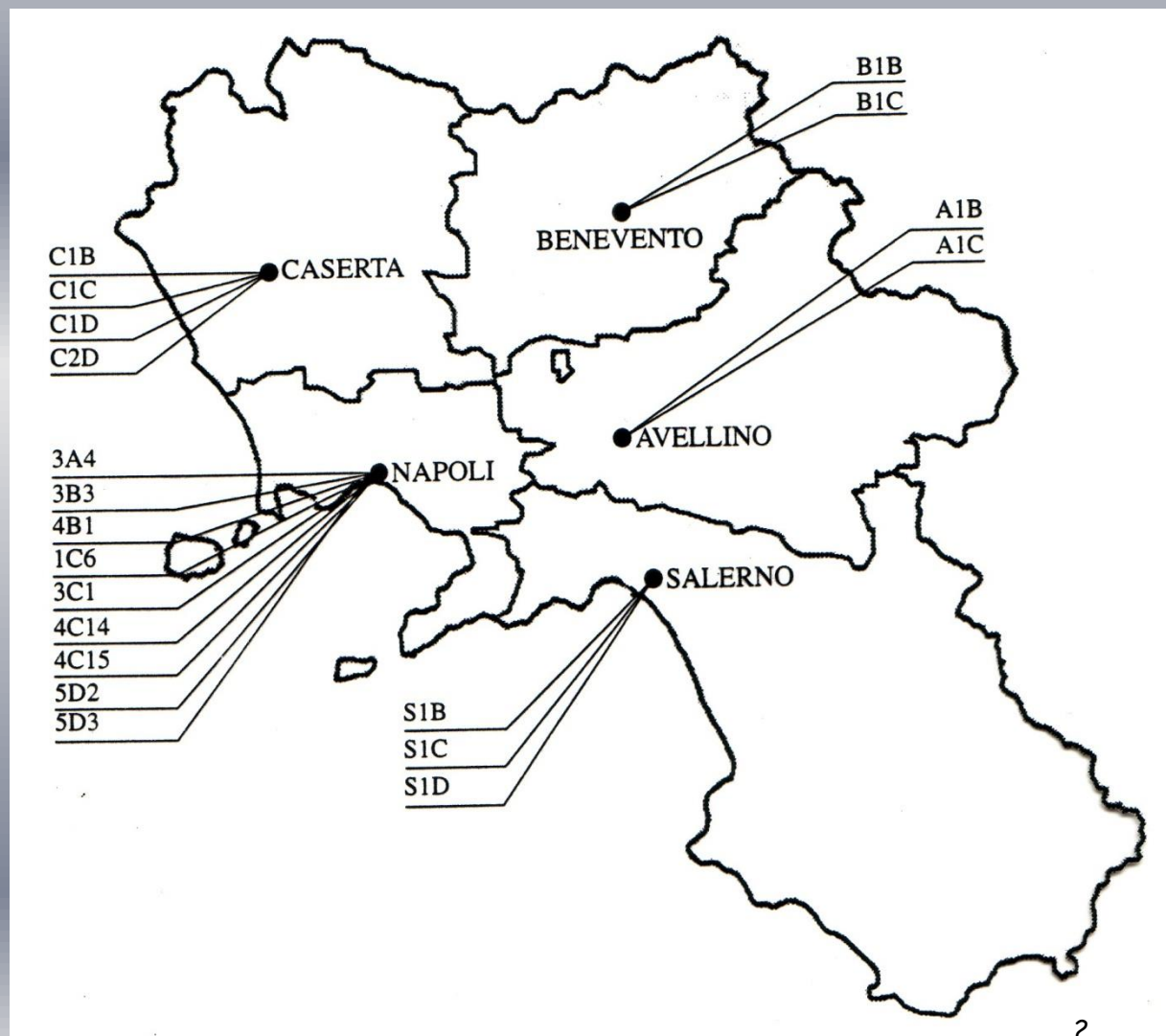
Prof.ssa Elena Chianese

Dip. di Scienze per l'Ambiente
Università Parthenope
Tel. 0815476631
elena.chianese@uniparthenope.it

Argomento della presentazione: tecniche di analisi degli inquinanti dei settori aria, acque e suolo.

La consapevolezza dell'esistenza di un problema relativo alla qualità dell'aria, richiede il ricorso a strumenti che consentano di monitorare in continuo le evoluzioni del fenomeno, allo scopo di consentire interventi tempestivi e mirati.

La Regione Campania, come ogni altra Regione dispone di una rete di stazioni di monitoraggio distribuite tra le province come mostrato:



Alcune definizioni:

Livello di attenzione: valore di concentrazione raggiunto il quale è necessario avvisare la popolazione perché prenda le proprie misure di sicurezza

Livello di allarme: valore di concentrazione raggiunto il quale le autorità locali devono intervenire

Periodo di osservazione: intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio del primo prelievo e la fine dell'ultimo, riferito ad un determinato sito o stazione di rilevamento e per ciascun inquinante

Frequenza di osservazione: dato un numero N di campionamenti di un dato inquinante, sia n l'insieme dei valori di concentrazione C_i distinti tra loro; la frequenza di osservazione f associata ad ognuno di tali valori è il numero di volte in cui il medesimo valore C_i è osservato

Tempo di mediazione: intervallo di tempo richiesto per la mediazione dei dati

Mediana: dato un numero N di valori di concentrazioni ordinati in modo crescente, si definisce mediana il valore centrale della sequenza

Alcune definizioni:

Media pesata o ponderale: dato un insieme di N valori distinti di concentrazione C_i , a ciascuno dei quali è associata una frequenza di osservazione f_i , si definisce media aritmetica pesata il rapporto:

$$C_{ma} = \sum \frac{f_i C_i}{N}$$

Concentrazione del k-esimo percentile, C_k : dato un insieme di N valori di concentrazioni C_i , ordinati in modo crescente, si definisce k-esimo percentile, C_k , il valore di concentrazione che occupa il K (N/100)-esimo posto della sequenza. Ad esempio con 50 valori ordinati in modo crescente:

$$C_1 < C_2 < C_3 < C_4 \dots \dots \dots < C_{50}$$

Il valore associato al 98-esimo percentile del suddetto insieme è l'elemento C_{49} che occupa la 49-esima posizione della sequenza; infatti

$$98(50/100)=49$$

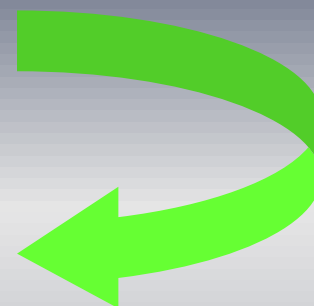
Ovviamente
esistono dei
valori di
riferimento:

Quadro normativo
nazionale relativo ai
limiti alle
concentrazioni di
inquinanti
dell'aria
al 1° gennaio 2010
(considerando anche il
recepimento della
direttiva ozono)

<i>INQUINANTE</i>	<i>PERIODO DI RIFERIMENTO</i>	<i>LIMITE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>TEMPO DI MEDIAZIONE DEI DATI</i>	<i>COMMENTI</i>
BIOSSIDO DI ZOLFO	anno civile	350 (da non superare più di 24 volte per anno civile)	ora	Valore limite DM 60/2.4.2002
	anno civile	125 (da non superare più di 3 volte per anno civile)	giorno	Valore limite DM 60/2.4.2002
	anno civile e inverno (1° ottobre – 31 marzo)	20	anno e inverno	Valore limite per la protezione degli ecosistemi DM 60/2.4.2002
	3 ore consecutive	500 (allarme)	ora	Soglia di allarme DM 60/2.4.2002
PARTICOLATO PM10 (gravimetrico)	anno civile	50 (da non superare più di 7 volte per anno civile)	giorno	Valore limite DM 60/2.4.2002
	anno civile	20	anno	Valore limite DM 60/2.4.2002
BIOSSIDO DI AZOTO	anno civile	200 (da non superare più di 18 volte per anno civile)	ora	Valore limite DM 60/2.4.2002
	anno civile	40	anno	Valore limite DM 60/2.4.2002
	3 ore consecutive	400	ora	Soglia di allarme DM 60/2.4.2002
OSSIDI DI AZOTO	anno civile	30	anno	Valore limite per la protezione della vegetazione DM 60/2.4.2002
OZONO	anno civile	120 (da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni)	8 ore	Valore bersaglio Direttiva 2002/3/CE
	anno	18000 (AOT40) ¹	ora	Livelli di attenzione e di allarme DM 16.5.96
IDROCARBURI NON METANICI	3 ore	200 (media aritm.) ²	ora	Limite massimo di accettabilità DPCM 28.3.1983
MONOSSIDO DI CARBONIO	8 ore	10000	ora	Valore limite DM 60/2.4.2002
FLUORO	giorno	20	giorno	Valore limite DPCM 28.3.1983
	mese	10 (media aritm.)	giorno	Valore limite DPCM 28.3.1983
PIOMBO	anno civile	0,5	anno	Valore limite DM 60/2.4.2002
BENZENE	anno civile	0,5	anno	Valore limite DM 60/2.4.2002
IPA con riferimento al BENZO(A)PIRENE	anno	0,0010 (media mobile)	giorno	Obiettivo qualità DM 25.11.94

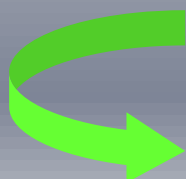
Tipologia delle centraline per il monitoraggio delle aree urbane, secondo il D. M. 20 /5/1991

Le centraline si differenziano sulla base dei parametri che devono monitorare e della loro locazione



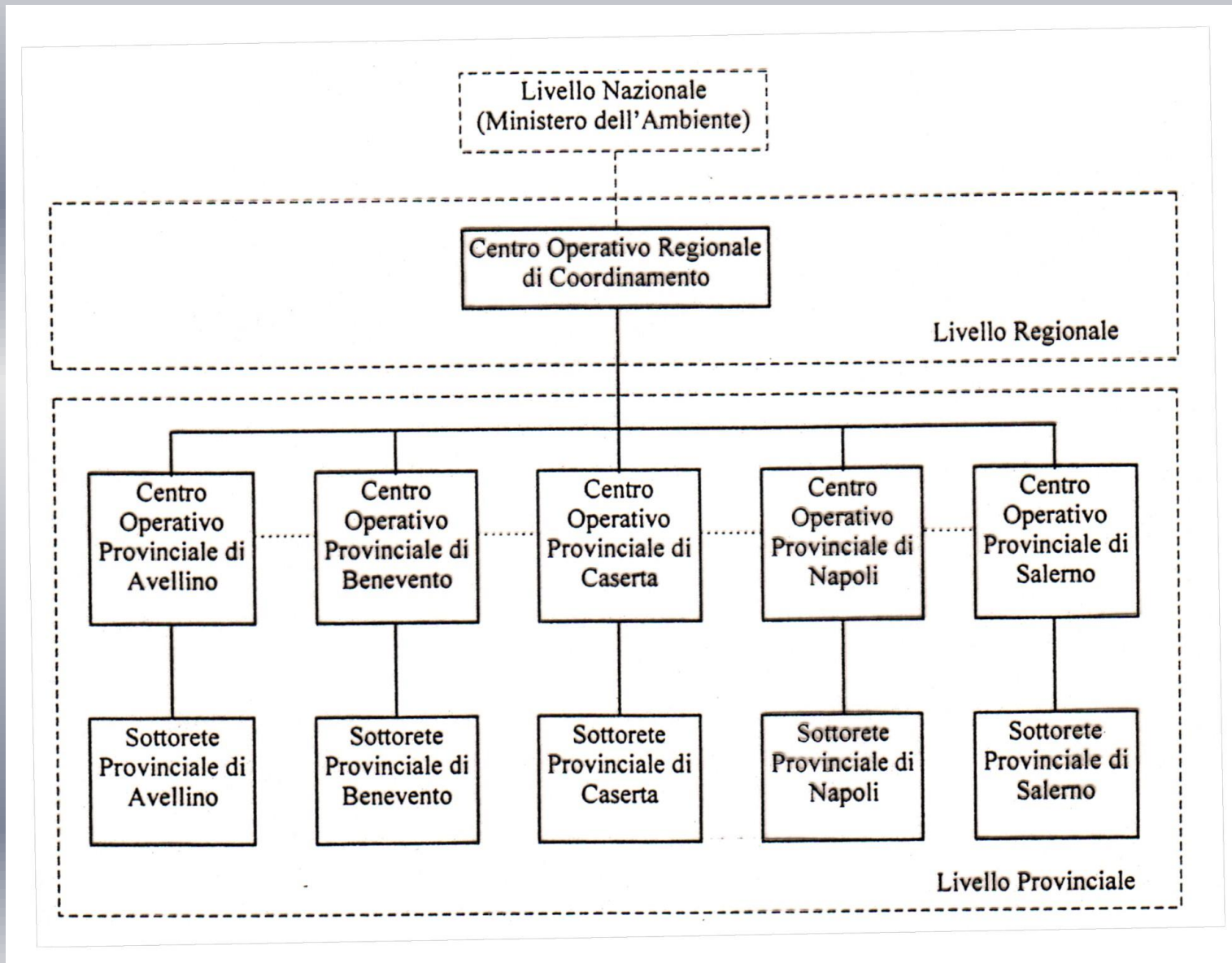
Tipologia delle stazioni	DESCRIZIONE
A	Stazioni di riferimento per la misura di inquinanti primari, secondari e non convenzionali, localizzate in aree non direttamente interessate da sorgenti di emissioni urbane (parchi, isole pedonali).
B	Stazioni per la misura di inquinanti primari e secondari situate in zone ad elevata densità abitativa.
C	Stazioni situate in zone ad elevato traffico autoveicolare con una rappresentatività delle misure valida per i dintorni della postazione.
D	Stazioni di misura degli inquinanti fotochimici (NO _x , O ₃ , PAN) situate in zone suburbane.

Il loro numero non è casuale:



CLASSI	NUMERO MINIMO DI STAZIONI DISTINTE PER TIPOLOGIE			
	A	B	C	D
Inferiore a 500.000 abitanti	1	2	2	1
Da 500.000 a 1.500.000 abitanti	1	3	3	1
Superiore a 1.500.000 abitanti	2	4	4	2

I dati raccolti devono essere trasmessi dalle autorità locali alle autorità nazionali per consentire un completo controllo del territorio



Centraline di tipo A, analizzatori presenti

Analizzatori e Sensori installati nelle centraline di tipo A

Analizzatori e sensori	Parametri rilevati	Unità di misura
Analizzatore di anidride solforosa	[SO ₂]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
" " ossidi di azoto	[NO]	<i>ppb</i>
	[NO ₂]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
	[NO _x]	<i>ppb</i>
" " monossido di carbonio	[CO]	mg/m^3
" " ozono	[O ₃]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
" " idrocarburi	[THC]	<i>ppm</i>
	[CH ₄]	<i>ppm</i>
	[NMHC]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
" " particelle sospese totali	[PTS]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sensore di temperatura dell'aria	TA	°C
" " umidità relativa dell'aria	UA	%
" " direzione vento	DV	<i>gradi</i>
" " velocità vento	VV	<i>m/s</i>
" " precipitazione atmosferica	PA	<i>mm</i>
" " pressione barometrica	PB	<i>hPa</i>
" " radiazione solare globale	RG	W/m^2

Centraline di tipo A, organizzazione

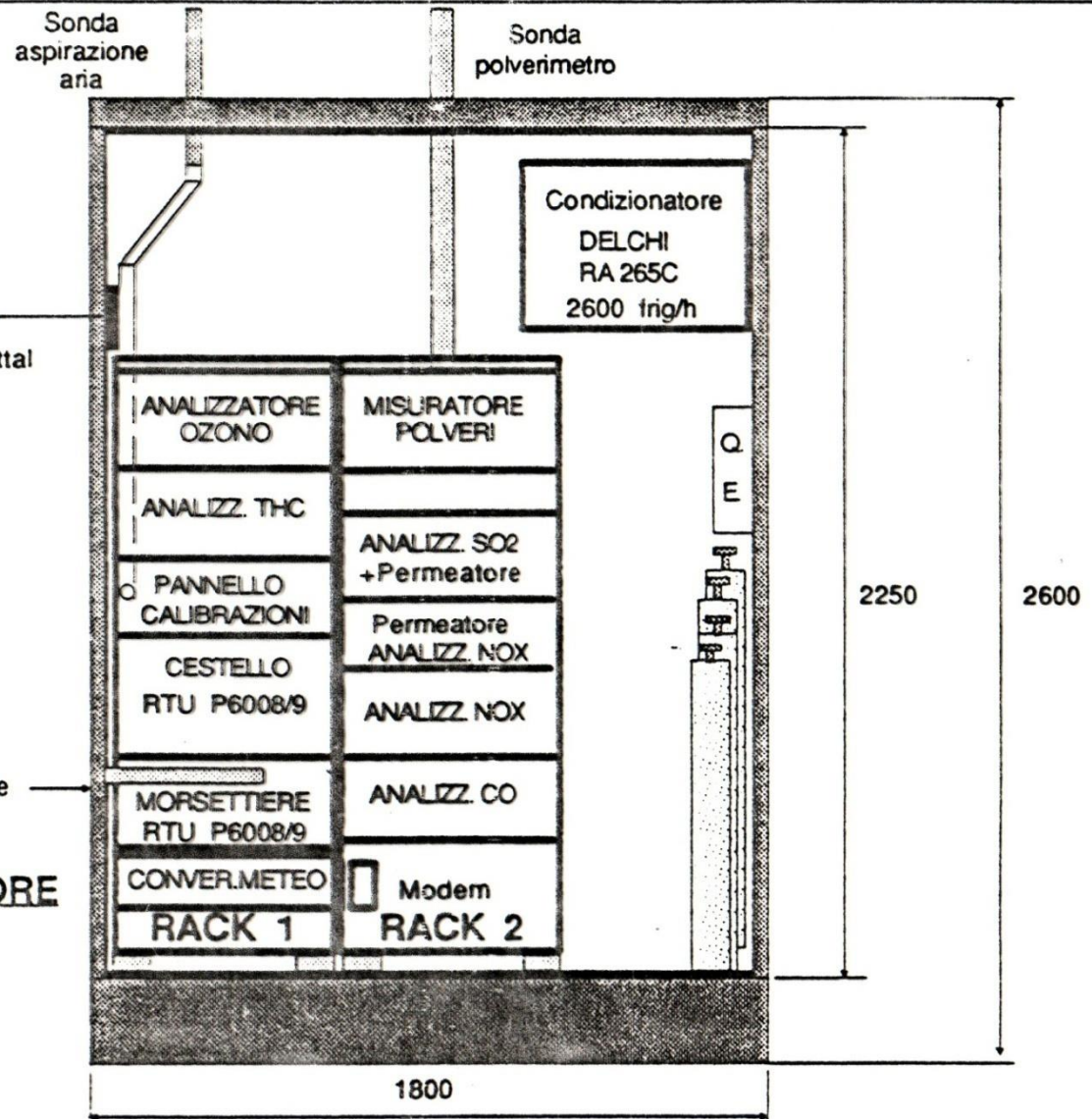
NOTE :

DIMENSIONI DI CIASCUNO
DEI 2 ARMADI RACK 33 M.U. :
1600 H x 600 L x 800 P

Termostato
alta temperatura
in cabina-Tipo Rittal
Programmabile
da +5 a +55
gradi cent.

Tavolo ribaltabile

VISTA INTERNA ANTERIORE



POSTAZIONE DI RILEVAMENTO DI TIPO A-U

Analizzatori e Sensori	Parametri rilevati	Unità di misura
Analizzatore di anidride solforosa	[SO ₂]	µg/m ³
" " ossidi di azoto	[NO]	ppb
	[NO ₂]	µg/m ³
	[NO _x]	ppb
" " idrocarburi	[THC]	ppm
	[CH ₄]	ppm
	[NMHC]	µg/m ³
" " particelle sospese totali	[PTS]	µg/m ³
Sensore di direzione vento	DV	gradi
" " velocità vento	VV	m/s

Centrale Tipo B

Sensori
presenti.

Organizzazione
della centralina

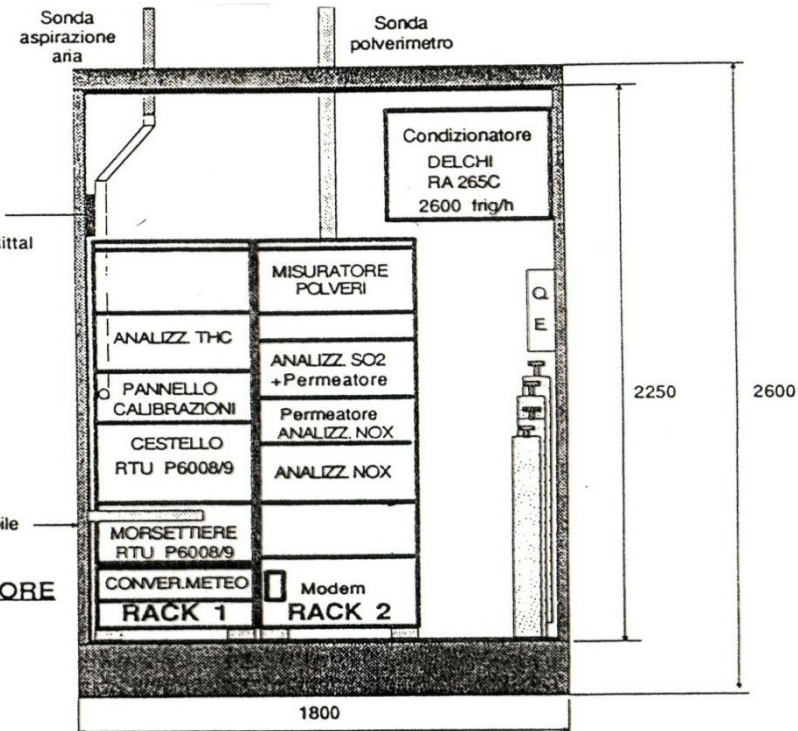
NOTE :

DIMENSIONI DI CIASCUNO
DEI 2 ARMADI RACK 33 M.U. :
1600 H x 600 L x 800 P

Termostato
alta temperatura
in cabina-Tipo Rittal
Programmabile
da +5 a +55
gradi cent.

Tavolo ribaltabile

VISTA INTERNA ANTERIORE



POSTAZIONE DI RILEVAMENTO DI TIPO B-U

Analizzatori e Sensori	Parametri rilevati	Unità di misura
Analizzatore di ossidi di azoto	[NO]	ppb
	[NO ₂]	µg/m ³
	[NO _x]	ppb
" " monossido di carbonio	[CO]	mg/m ³
" " idrocarburi	[THC]	ppm
	[CH ₄]	ppm
	[NMHC]	µg/m ³
" " particelle sospese totali	[PTS]	ppb
Sensore di direzione vento	DV	gradi
" " velocità vento	VV	m/s
" " radiazione solare globale	RG	W/m ²

Centrale Tipo C

Sensori
presenti.

Organizzazione
della centralina

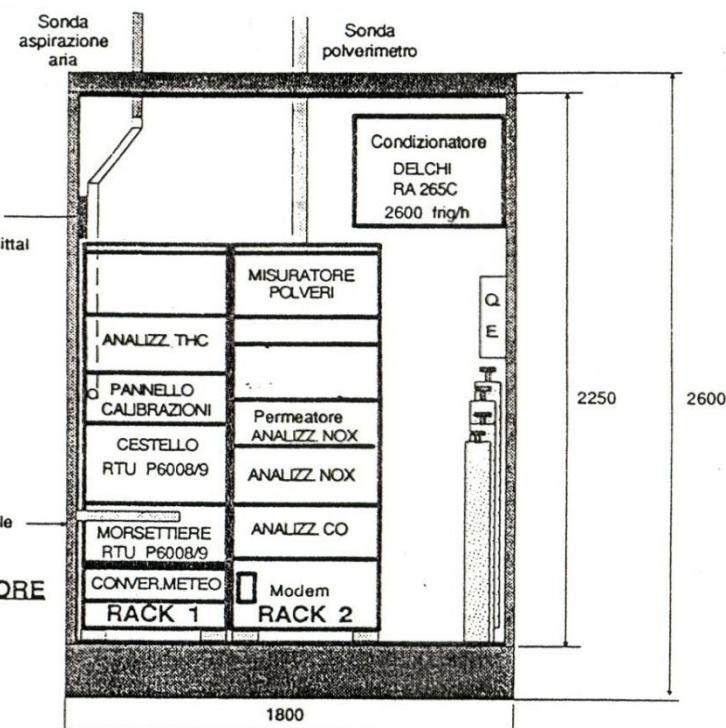
NOTE :

DIMENSIONI DI CIASCUNO
DEI 2 ARMADI RACK 33 M.U. :
1600 H x 600 L x 800 P

Termostato
alta temperatura
in cabina-Tipo Rittal
Programmabile
da +5 a +55
gradi cent.

Tavolo ribaltabile

VISTA INTERNA ANTERIORE



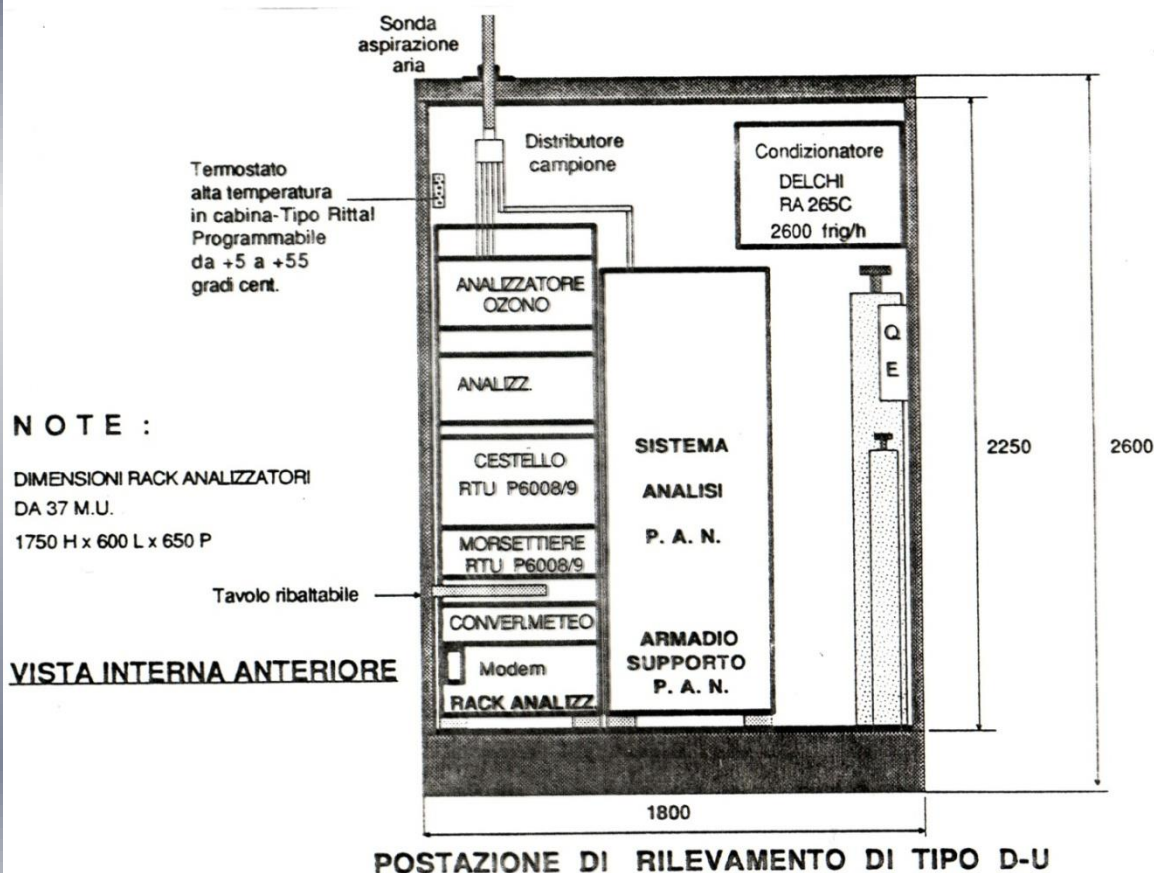
POSTAZIONE DI RILEVAMENTO DI TIPO C-U

Centraline Tipo D

Analizzatori e Sensori	Parametri rilevati	Unità di misura
Analizzatore di ossidi di azoto	[NO]	ppb
	[NO ₂]	µg/m ³
	[NO _x]	ppb
" " ozono	[O ₃]	µg/m ³
" " perossiacetilnitrato	[PAN]	ppb
Sensore di direzione vento	DV	gradi
" " velocità vento	VV	m/s

Sensori
presenti.

Organizzazione
della centralina



Principi di funzionamento di analizzatori chimici

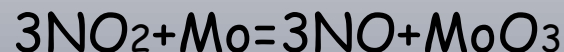
ANALIZZATORI	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO
Anidride solforosa	Fluorescenza generata dalla eccitazione della molecola di SO ₂ con luce ultravioletta ($\lambda = 214 \text{ nm}$)
Ossidi di azoto	Chemiluminescenza delle molecole attivate di NO ₂ prodotte dalla reazione tra NO e O ₃ in una camera sotto vuoto
Monossido di carbonio	Assorbimento da parte delle molecole di CO nell'infrarosso ($\lambda = 4,5 - 4,9 \mu\text{m}$)
Ozono	Assorbimento da parte delle molecole di O ₃ nell'ultravioletto ($\lambda = 254 \text{ nm}$)
Idrocarburi	Ionizzazione di fiamma
Polveri totali	Assorbimento radiazioni β emesse da una sorgente solida di ¹⁴ C
Perossiacetilnitrato	Gascromatografia

Analizzatore ossidi di azoto:

- Si sfrutta la reazione in fase gassosa tra monossido di azoto e ozono; questa reazione produce una luminescenza caratteristica (chemiluminescenza), la cui intensità è proporzionale alla concentrazione di NO.

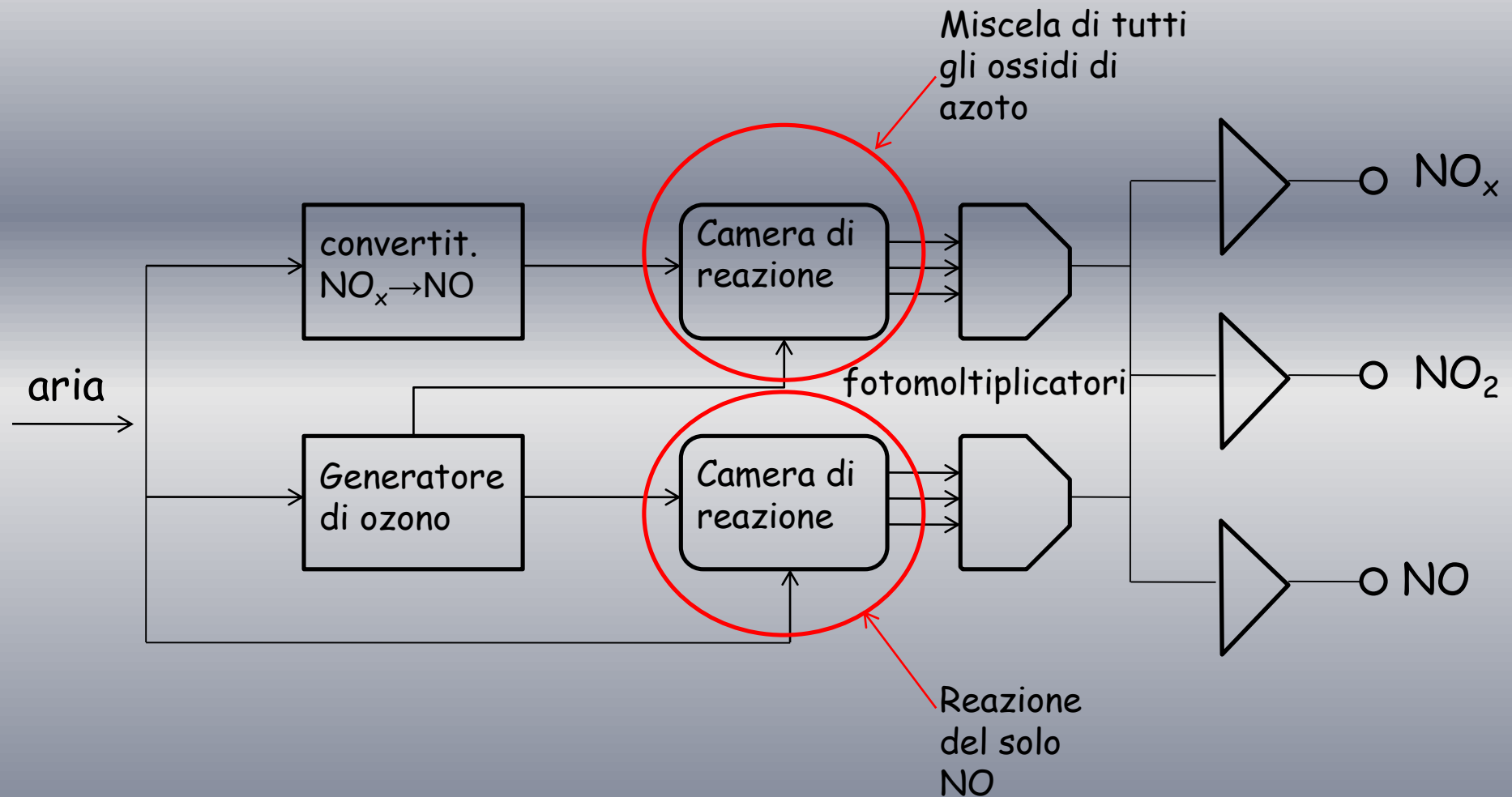


- Poiché la reazione coinvolge il solo NO è necessario convertire NO₂ in NO; ciò avviene mediante uso di catalizzatori al molibdeno sui quali avviene la reazione:



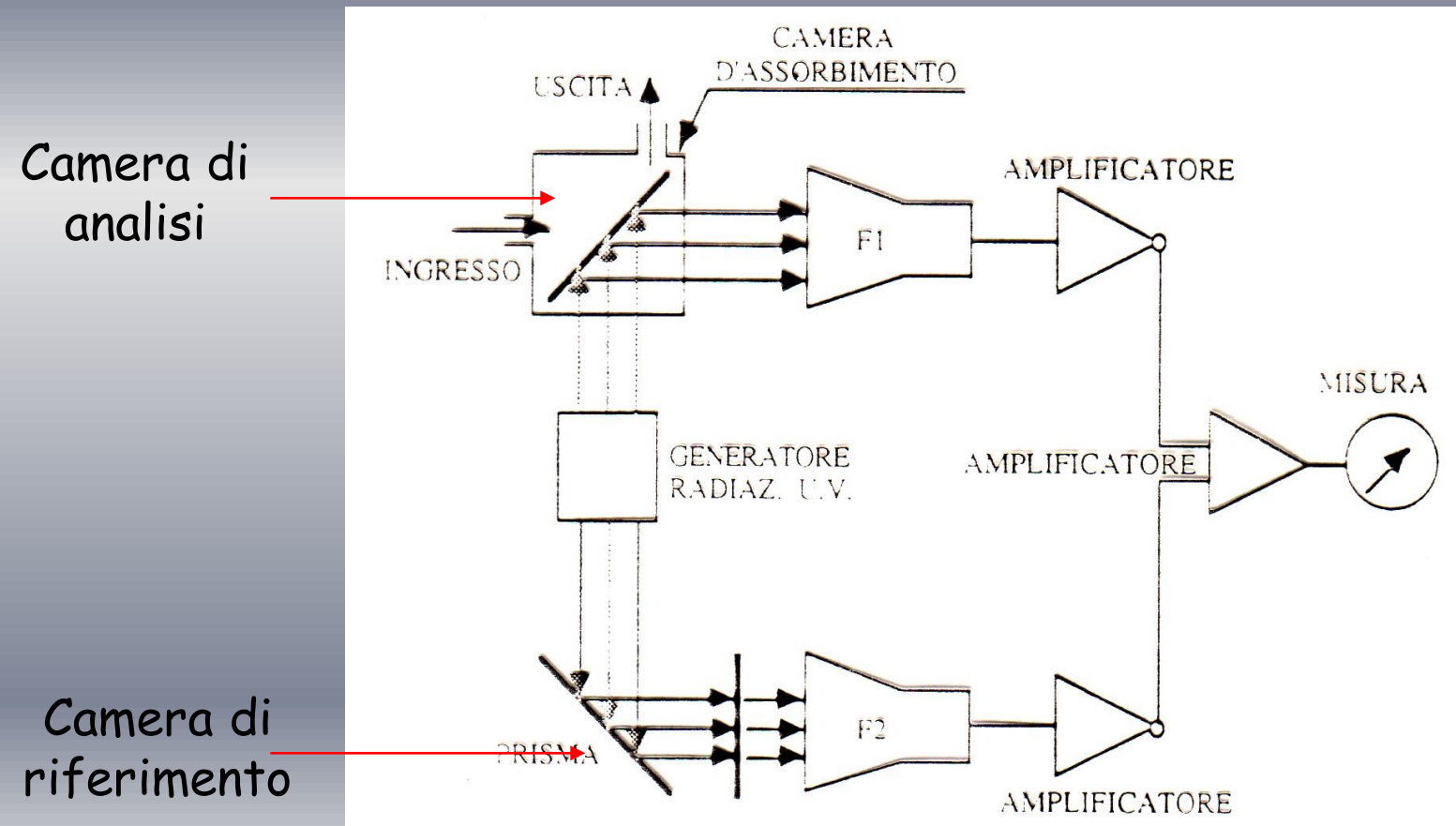
In questo modo si effettua una misura degli NO_x totali, è possibile però strutturare l'analizzatore per poter misurare separatamente le concentrazioni di NO e NO₂

Schema dell'analizzatore di ossidi di azoto:



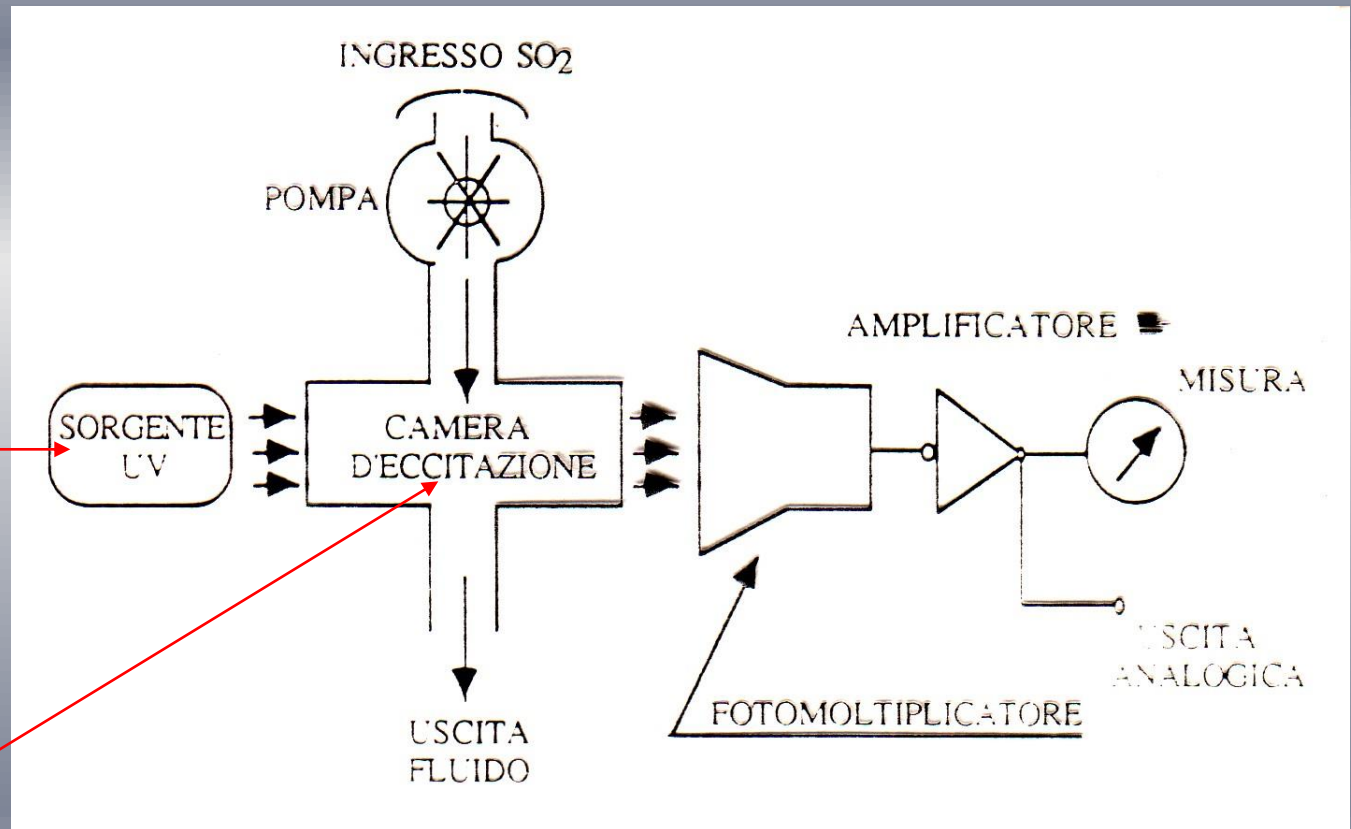
Analizzatore di ozono:

- Lo strumento sfrutta la capacità dell'O₃ di assorbire radiazioni ultraviolette con lunghezza d'onda pari a 250 nm.
- Si misura dunque l'attenuazione della radiazione in ingresso, tale attenuazione è proporzionale alla quantità di O₃.



Analizzatore di **anidride solforosa**:

Si sfrutta il fenomeno di fluorescenza ossia emissione di specifiche radiazioni a seguito di eccitamento della molecola mediante irraggiamento con radiazione elettromagnetiche di lunghezza d'onda selezionata.



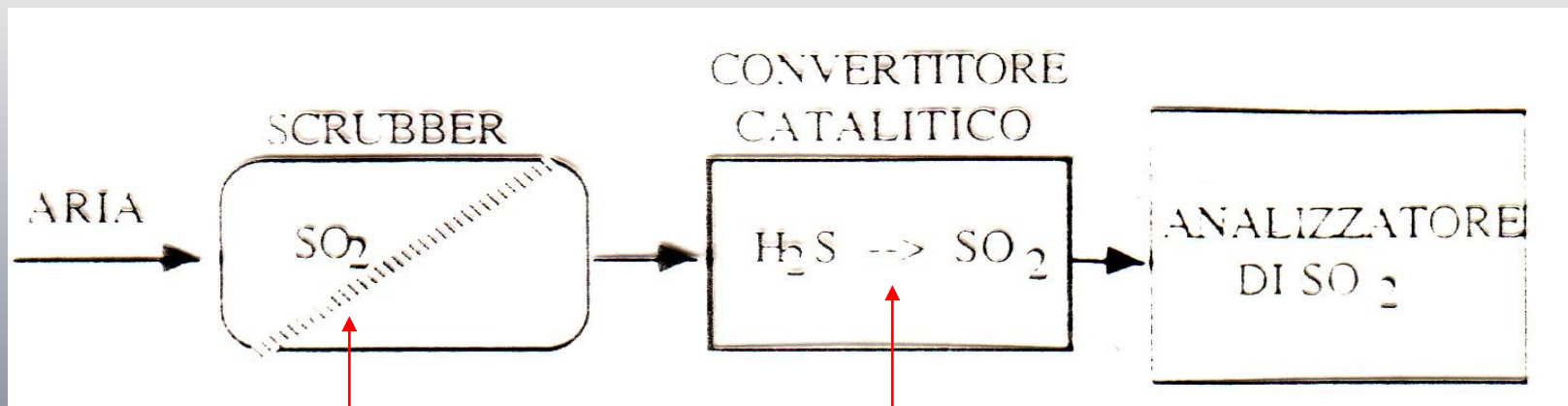
Lunghezza
d'onda pari a
214 nm

Camera di
osservazione
della
fluorescenza

Analizzatore di **anidride solforosa**

In alcuni casi può essere interessante valutare anche la presenza di idrogeno solforato, H_2S ; ad esempio nel caso di siti adiacenti discariche o aree di trattamento di derivati dello zolfo.

In questo caso si usa lo stesso analizzatore visto prima ma solo dopo aver convertito H_2S in SO_2 . Volendo anche in questo caso il convertitore può essere messo in parallelo con l'analizzatore per eseguire la misura in un unico stadio.



Allontanamento
dell' SO_2 mediante
lavaggio con acqua

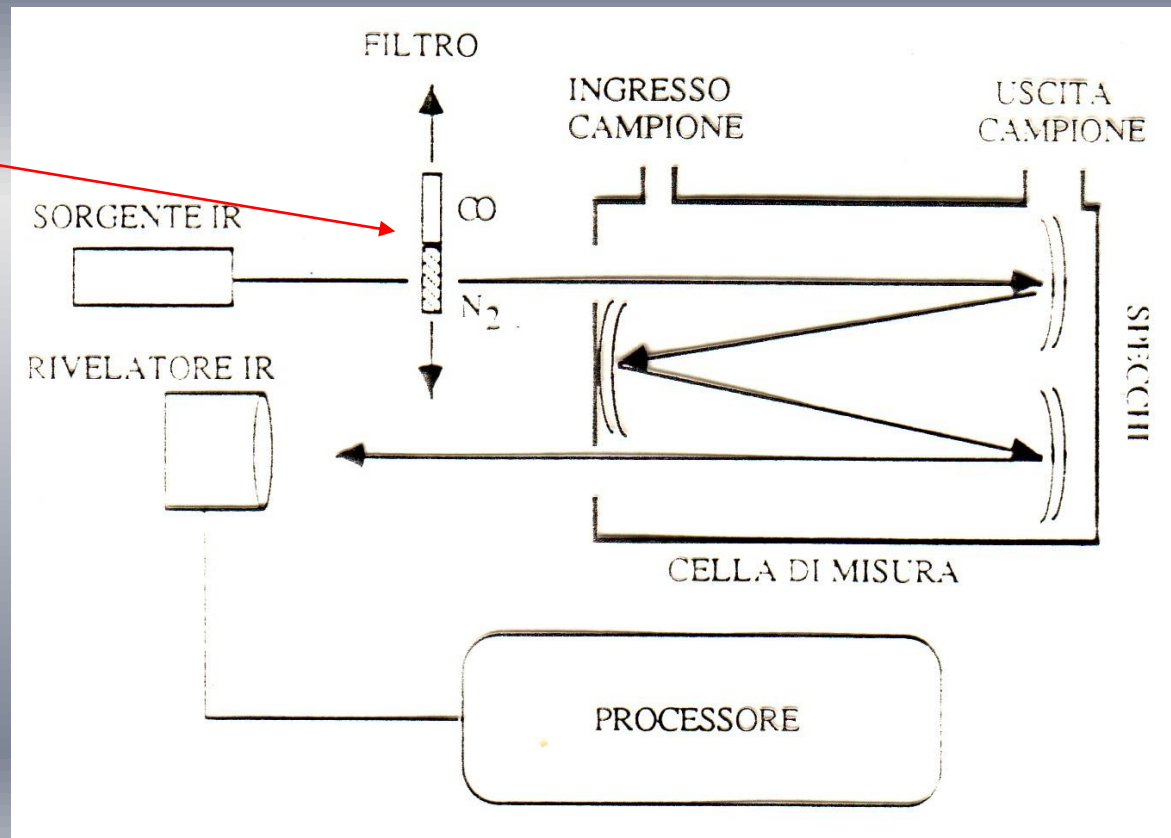
La reazione è:
$$2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$$

Analizzatore di **monossido di carbonio**

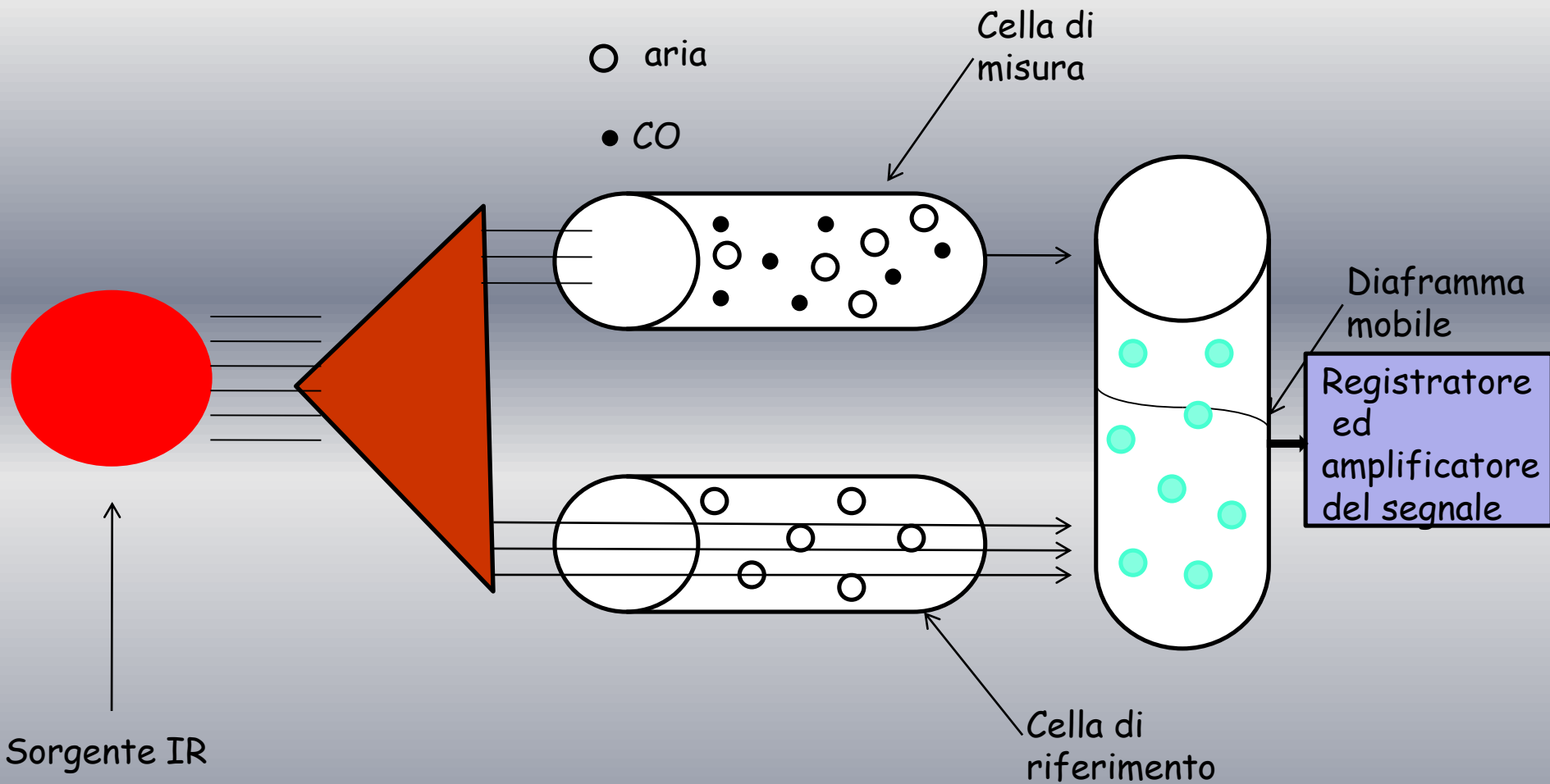
Si sfrutta la capacità del monossido di carbonio di assorbire selettivamente la radiazione infrarossa.

Si misura dunque l'attenuazione del raggio di IR in ingresso, direttamente proporzionale alla quantità di CO presente.

Il filtro di CO serve a creare uno spettro di assorbimento di riferimento relativo alle altre sostanze presenti.



Analizzatore di monossido di carbonio



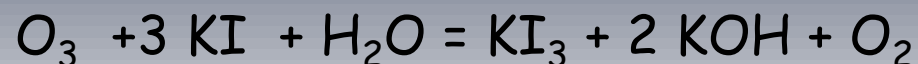
Tecniche alternative:

1. Ionizzazione di fiamma
2. Calore di combustione

Un indice molto importante delle proprietà dell'aria che stiamo considerando è la capacità ossidante.

Si fa dunque una stima della presenza di sostanze a carattere ossidante.

È possibile sfruttare le reazioni del tipo:



Da questa reazione si produce lo ione triioduro, che può essere misurato con metodi spettrofotometrici, assorbendo a 352 nm.

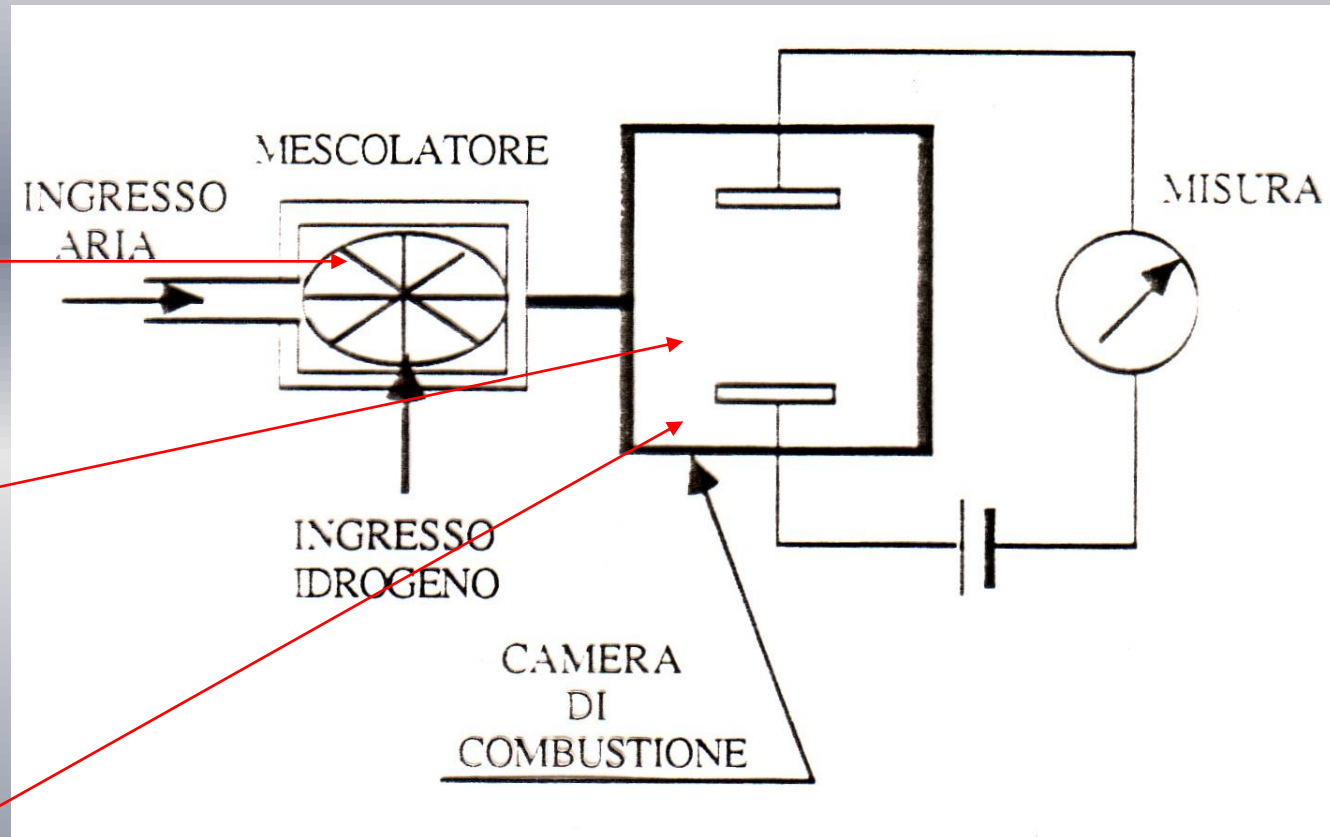
Il metodo consente di determinare le specie ossidanti nell'intervallo di concentrazioni 0,01 a 10 ppm.

Analizzatore di idrocarburi totali

Per la misura degli idrocarburi totali, si usa la tecnica di rilevamento mediante combustione.

Generazione della miscela da bruciare: aggiunta di idrogeno

Reazione di combustione: aggiunta di ossigeno



La combustione degli idrocarburi passa per delle fasi intermedie in cui si ha la ionizzazione delle molecole presenti per cui nella miscela finale saranno presenti ioni molecolari positivi ed elettroni liberi, facendo passare questa miscela tra due elettrodi, le cariche si separano e si genera una differenza di potenziale, la cui intensità è proporzionale alla quantità di sostanza bruciata

Analizzatore di idrocarburi

Può essere però interessante determinare anche la tipologia degli idrocarburi presenti, in questo caso è necessario ricorrere a tecniche di separazione degli idrocarburi presenti e poi rilevarli separatamente mediante la tecnica FID (*Flame Ionization Detector*)

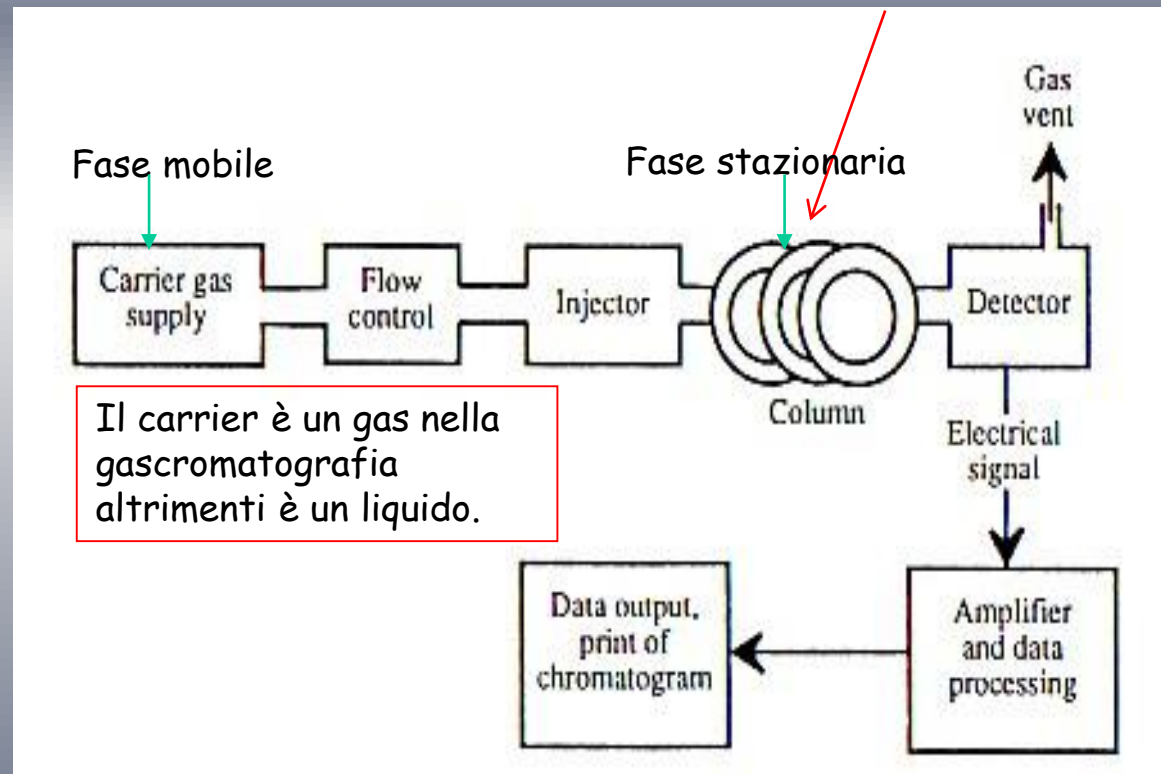
Immersa in un forno per il controllo della T

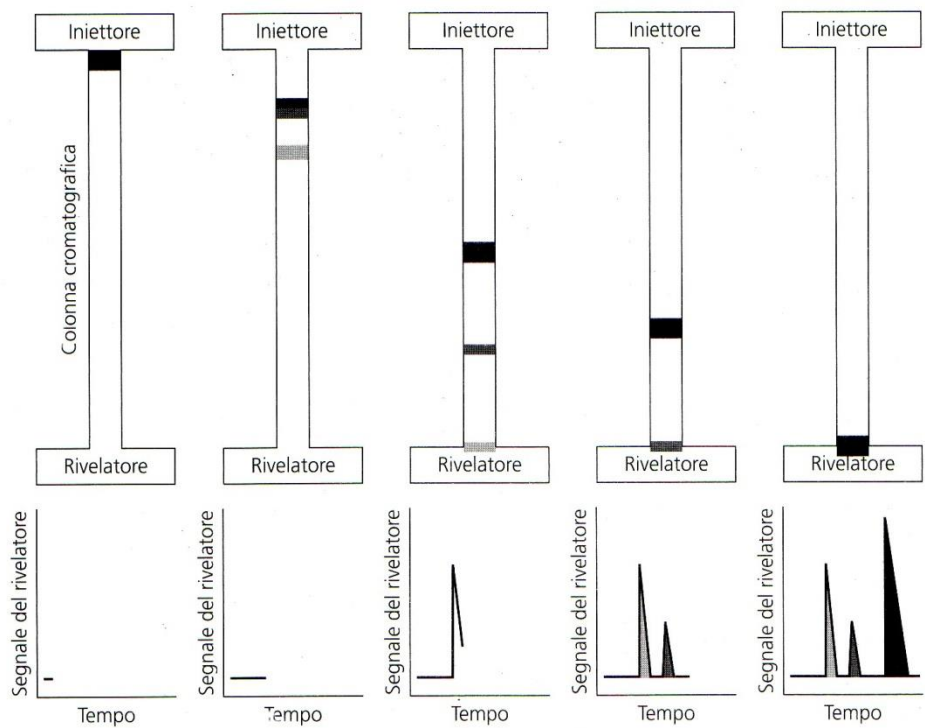
Le tecniche a cui più di frequente si fa ricorso sono le tecniche cromatografiche; esse comportano il passaggio del gas da analizzare su oppure attraverso (a seconda del tipo di cromatografia) uno specifico supporto.

Molecole diverse, per numero di atomi di carbonio, per gruppo funzionale etc interagiranno diversamente con il supporto selezionato, per cui usciranno dalla camera di interazione in tempi diversi, caratteristici di ogni sostanza.

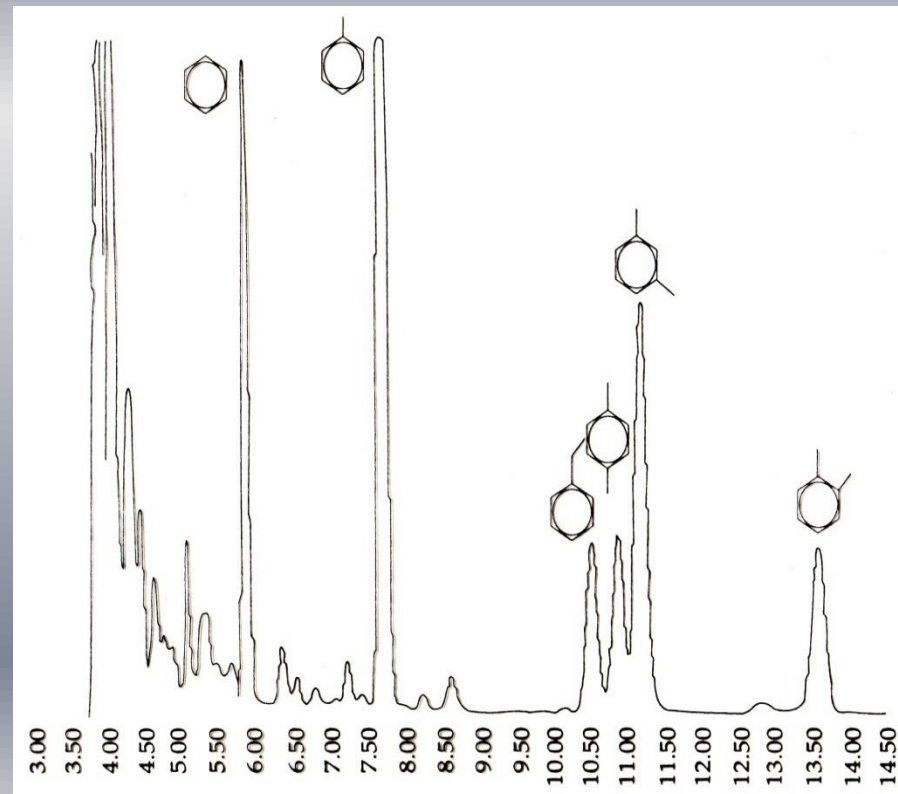
Il principio su cui si basa la tecnica è la competizione tra fase stazionaria e fase mobile nel lagare le sostanze contenute nel campione.

Sostanze differenti hanno diverse interazioni con le fasi stazionaria e mobile, pertanto usciranno a tempi diversi, ossia separate.





Sono nate essenzialmente come tecniche di indagine sulle sostanze di natura organica; sono sia qualitative che quantitative; sono molto selettive e sensibili.



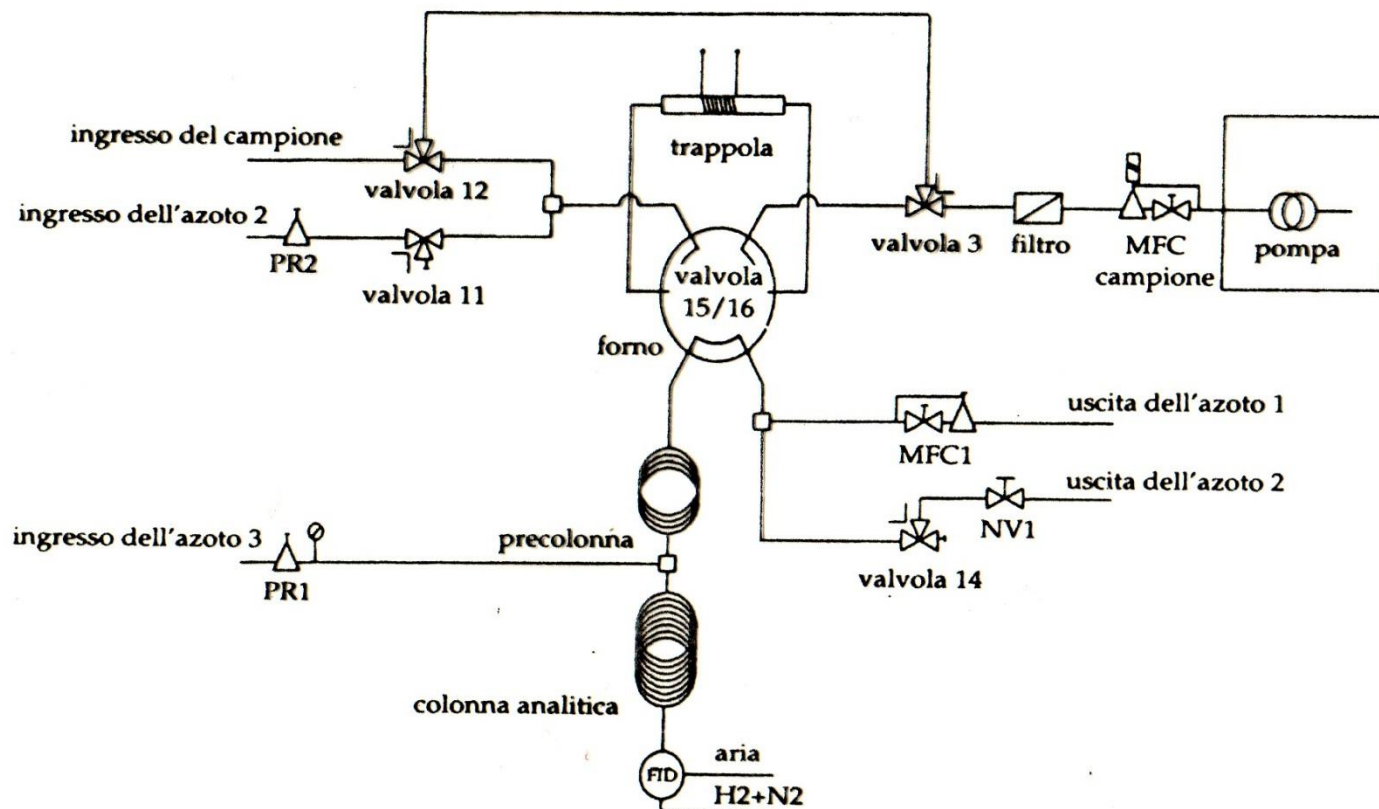
È possibile eseguire analisi per la misura degli idrocarburi totali, separare il solo metano, oppure ottenere separazioni molto spinte.

Possono essere individuati e misurati: nitrati, nitriti, pesticidi, PCB detergenti

Analizzatore di idrocarburi

Spesso però le quantità delle singole specie sono molto piccole, per cui si procede prima all'arricchimento e poi all'analisi.

Schema operativo per l'analisi di laboratorio dei BTX (Benzene, Toluene, Xileni)



Altro esempio: schema di analisi per il PAN e derivati

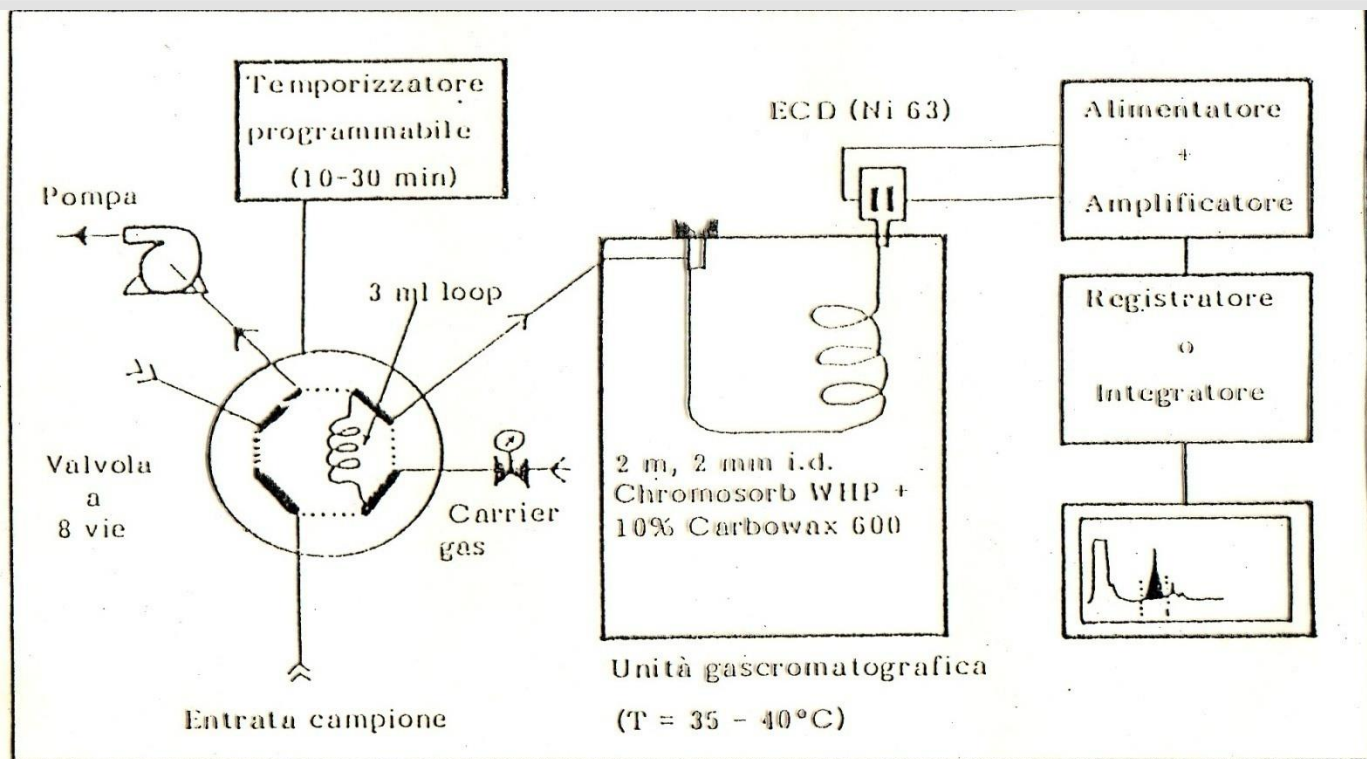
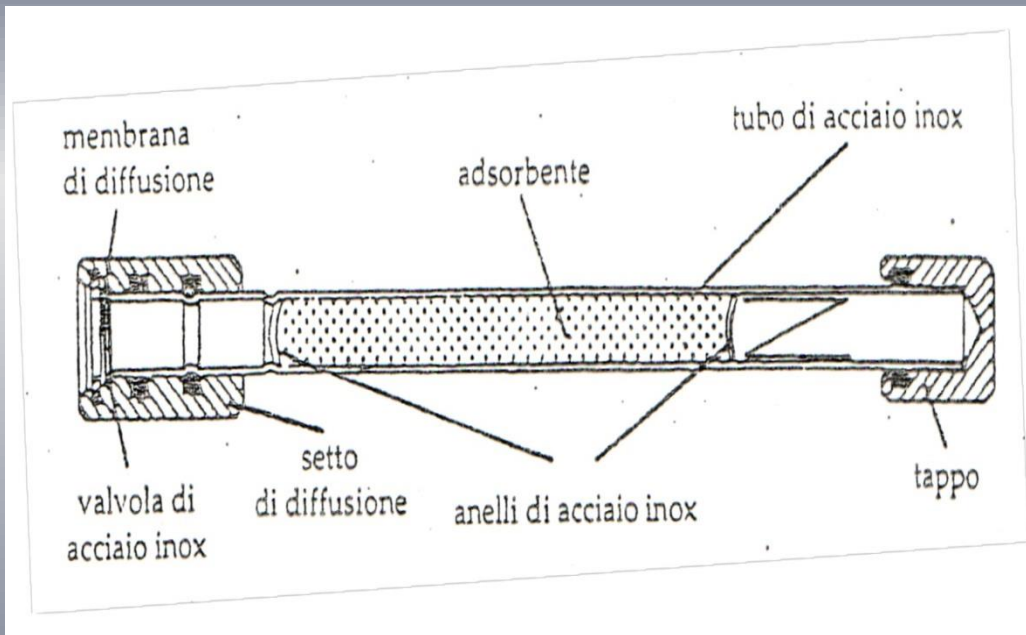


Fig. 5 - Schema dell'apparecchiatura usata per la determinazione semi-automatica del PAN, PPN e CH_3ONO_2 .

Nel caso della **formaldeide** e della **benzaldeide** (composti carbonilici volatili) la misurazione viene effettuata raccogliendo prima il materiale su cartucce di gel di silice impregnate con sostanza assorbente (2,4-dinitrofenilidrazina). I derivati idrazonici ottenuti vengono poi estratti e analizzati con cromatografia HPLC.

Campionatori passivi

Nel caso di sostanze presenti in piccole quantità, si fa spesso ricorso a campionatori passivi: in essi le sostanze vengono accumulate filtrandole dalla corrente di aria che passa e poi vengono analizzati.



$$C = \frac{m * L}{t * D * S}$$



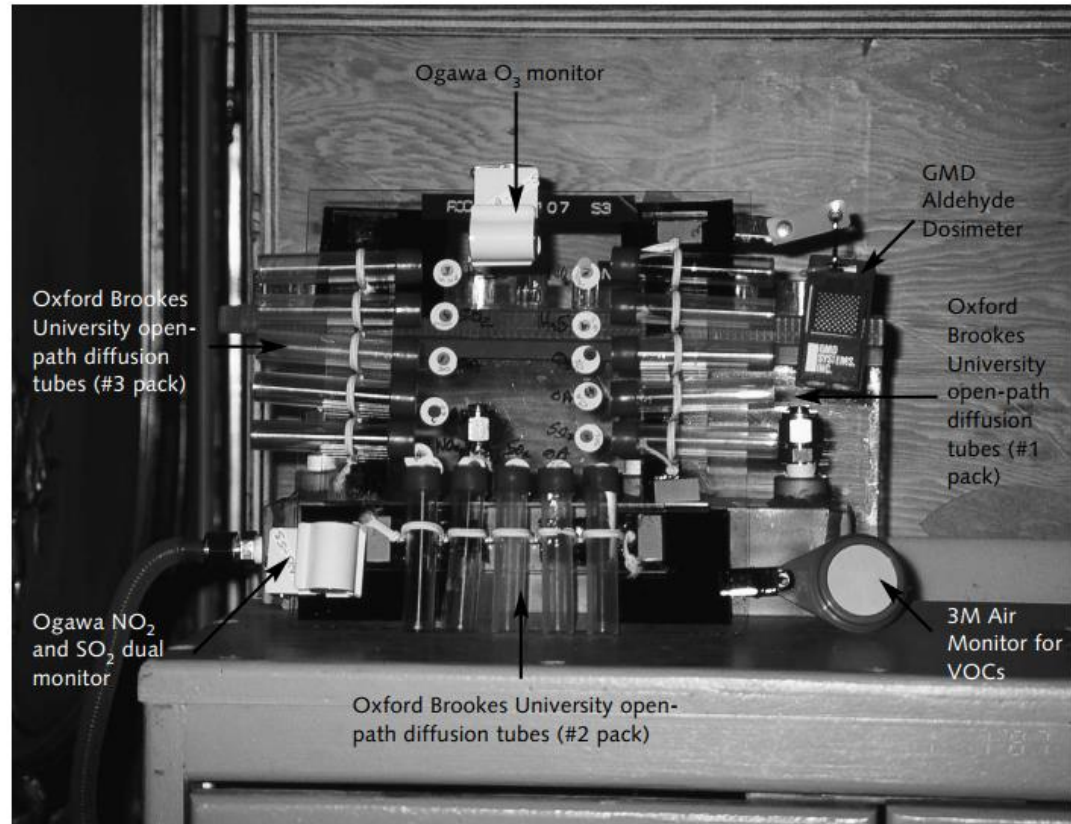
Dopo il tempo di esposizione, differente in base al tipo di campionatore utilizzatore (dalla settimana al mese) il supporto adsorbente viene sottoposto ad estrazione con opportuno solvente:

- acqua ultrapura
- eluenti (specifici per le tecniche cromatografiche che verranno poi utilizzate)

Le soluzioni così estratte vengono poi analizzate con le opportune tecniche:

- Per SO_2 , O_3 , NO_x , HNO_2 , NH_3 si ricorre alla cromatografia ionica con la quale si determinano le specie in modo «indiretto»
- Per i BTEX ed in generale i composti organici si ricorre alla gascromatografia.
- In alcuni casi è possibile avere una linea d'analisi più semplice: desorbimento termico e poi direttamente gascromatografia (Radiello).

Assorted PSDs mounted on a Plexiglas panel facilitated deployment. The panel is propped up for the photograph. Each pack of Oxford Brookes University Open-Path Diffusion Tubes contains the same five samplers: nitrogen dioxide, hydrogen sulfide, ozone, organic acids, and sulfur dioxide. Photo: Cecily M. Grzywacz
© J. Paul Getty Trust



Esempio di allestimento con campionatori passivi in ambienti museali.

Altro esempio di campionatori passivi sono i **tubi diffusivi colorimetrici**.



In questo caso si ha una risposta quantitativa, il sistema consente di monitorare direttamente il contaminante presente nell'aria.

Si tratta di tubi di vetro all'interno dei quali c'è un reagente; quando il tubo viene aperto, il reagente può reagire con il contaminante dell'aria.

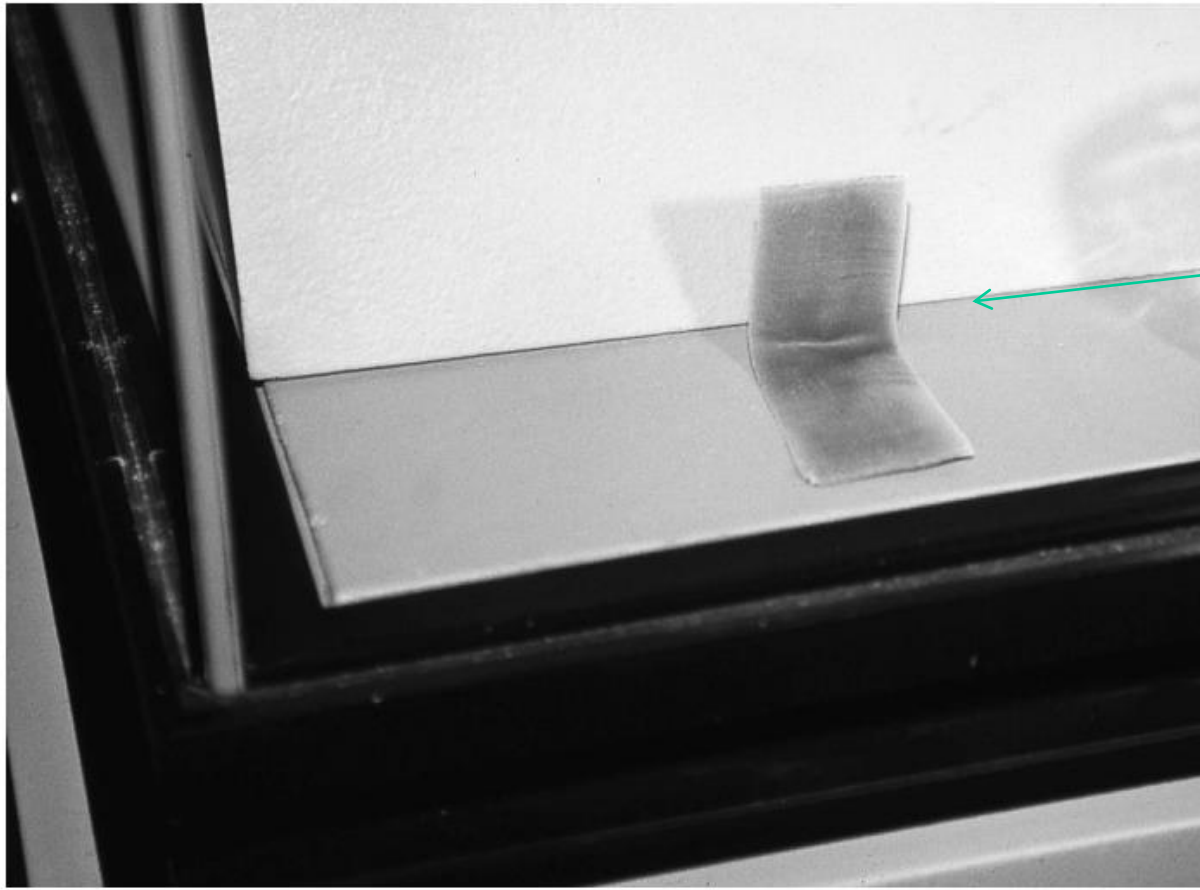
La reazione comporta un viraggio del colore lungo la barra.

La lunghezza della barra colorata è direttamente proporzionale alla quantità di contaminante presente nell'aria.

La scala graduata consente la lettura della concentrazione.

Va bene per concentrazioni nell'ordine dei ppm. Ne esistono tipologie differenti per la misura del singolo contaminante oppure per le miscele.

Monitoraggio con i «coupon»



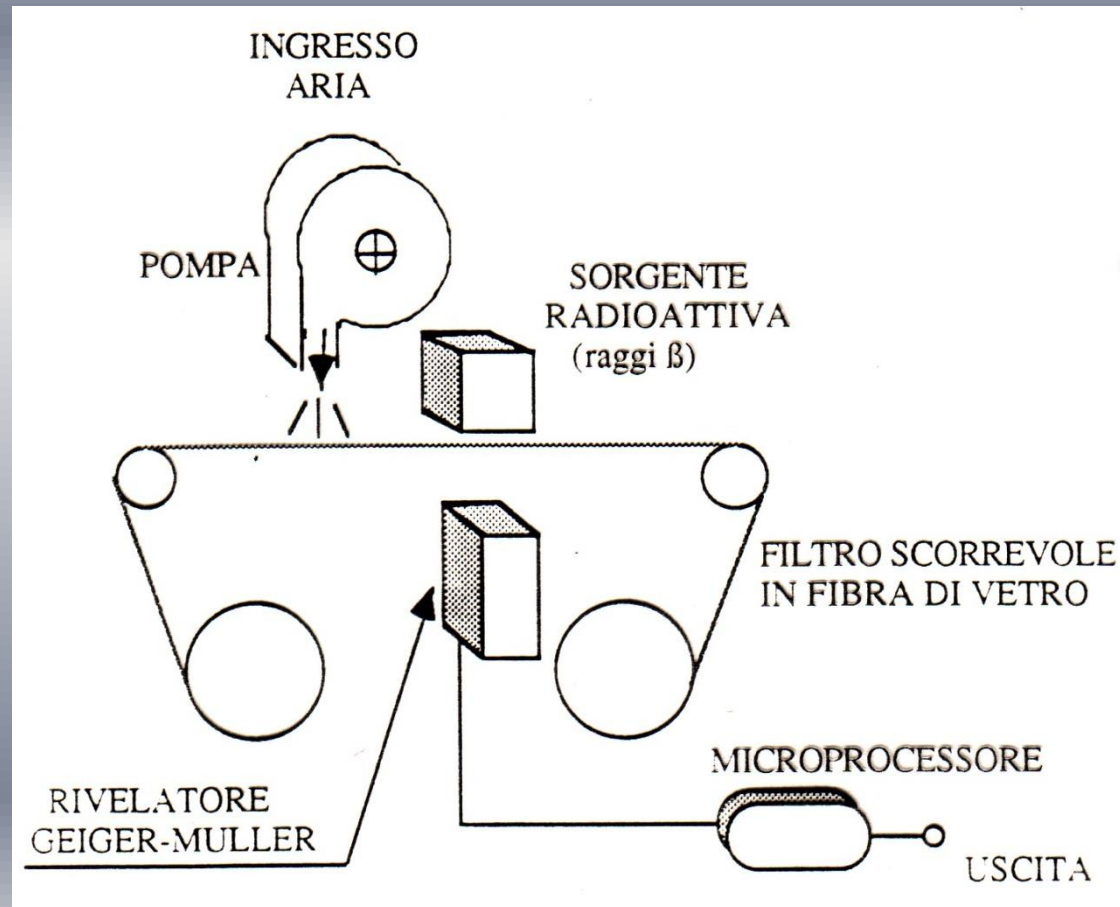
«Coupon» per
la corrosione
del piombo

Con questi sistemi non si fa un monitoraggio della composizione dell'aria, ma piuttosto si valuta l'effetto dell'aria stessa sui materiali esposti. In tal senso fornisce una stima del potenziale degradativo dell'aria. I materiali del coupon sono vari, tipicamente vendono stimanti gli effetti sui metalli o leghe oppure su materiali calcarei.

Analizzatore di particolato

Il sistema automatico di campionamento delle particelle sospese, non fornisce informazioni sulle dimensioni e sulla composizione del materiale raccolto. Si sfrutta l'assorbimento da parte del materiale solido delle particelle β generate da un'opportuna sorgente.

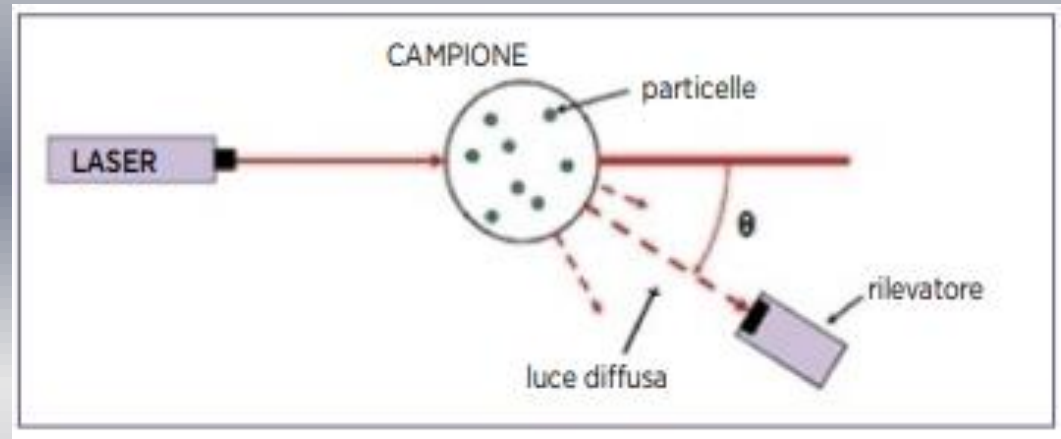
Questa tecnica restituisce come informazione la quantità di massa presente e non fornisce indicazioni sulla segregazione dimensionale.



Contatori ottici di particelle

Una variante è quello degli OPC (Optical Particle Counters) ossia sistemi in cui una radiazione (solitamente a 670 nm) irradia il campione. La radiazione viene deviata ad angoli diversi dalle diverse particelle (principio del light scattering) ed in misura proporzionale alla concentrazione di queste, per cui la tecnica restituisce l'informazione sul numero di particelle e sulle loro dimensioni.

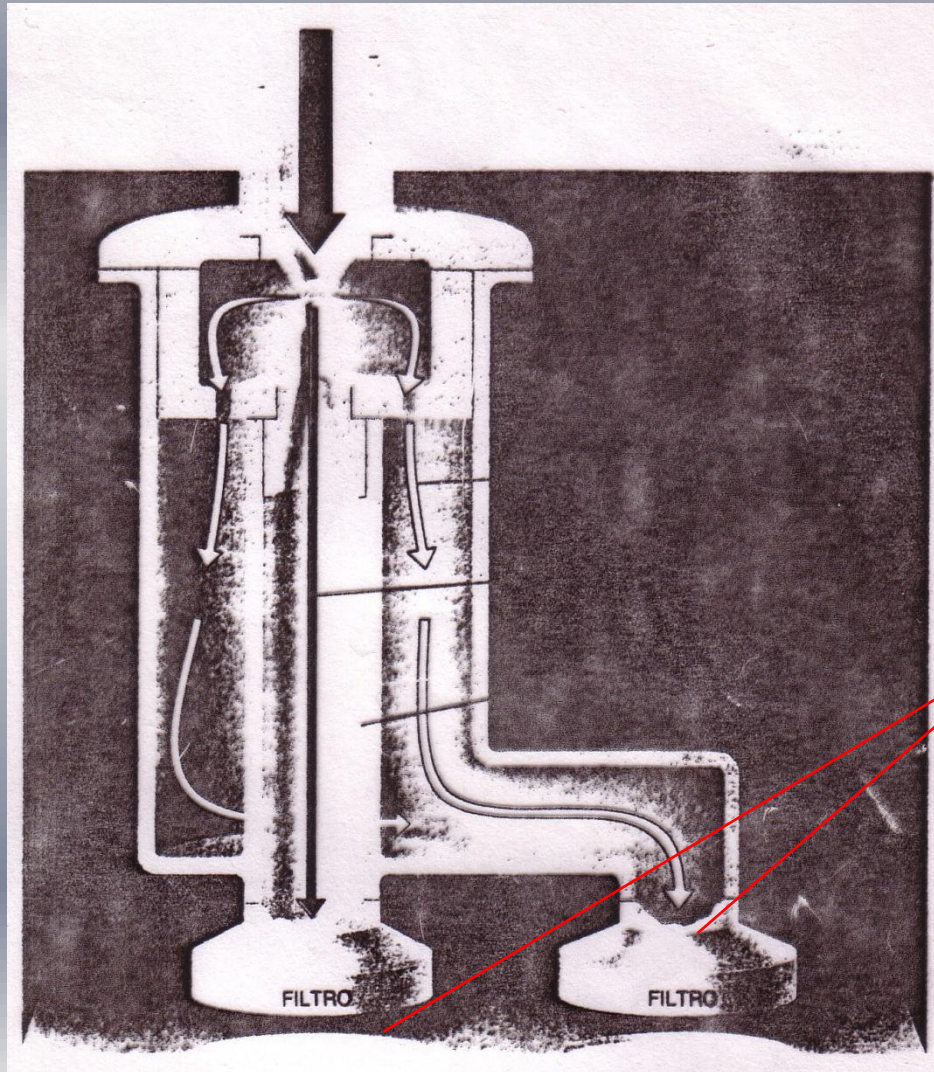
Principio del metodo



OPC Grimm

Analizzatore di particolato

Poiché però come detto precedentemente è molto importante avere informazioni sulla distribuzione dimensionale del particolato, si fa spesso ricorso a tecniche di analisi differenti:



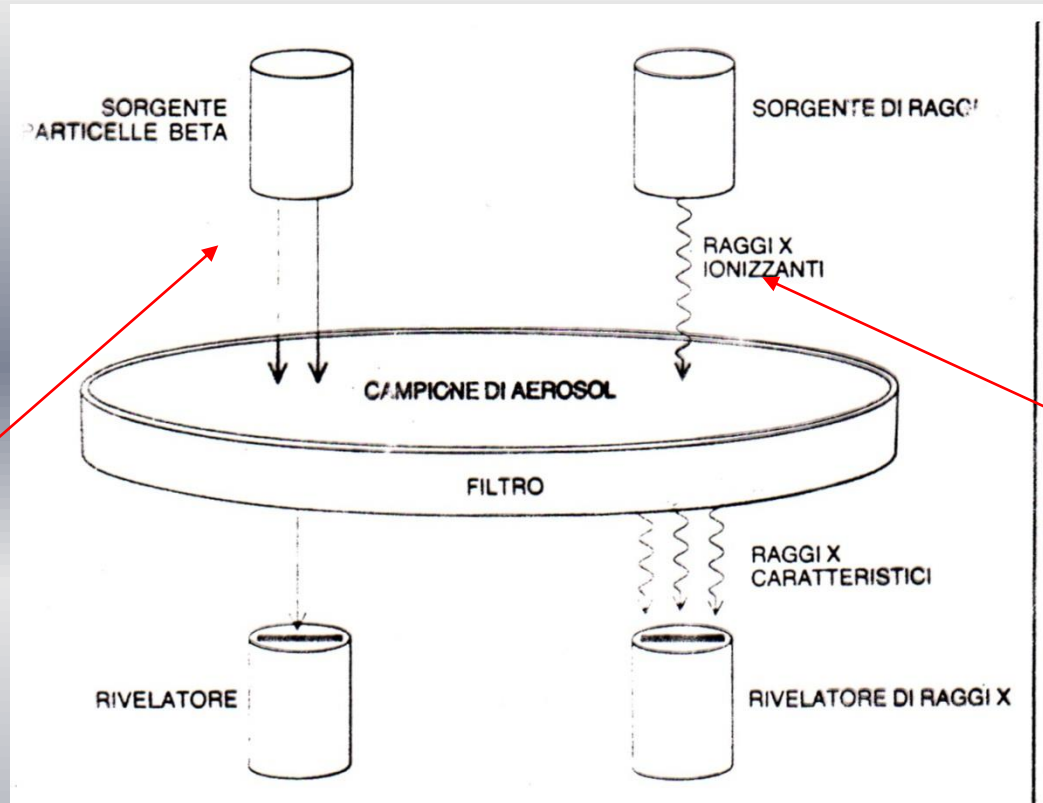
Con questo strumento detto conometro a urto virtuale, è possibile ad esempio differenziare almeno due frazioni di particolato.

Le particelle più grandi dunque più pesanti cadono in verticale, mentre quelle più leggere vengono deviate dalla corrente; in questo modo vengono raccolte su due filtri differenti.

La segregazione può essere realizzata anche a monte nella testa di campionamento.

Analisi del particolato

Tecnica non
selettiva



Tecnica
selettiva

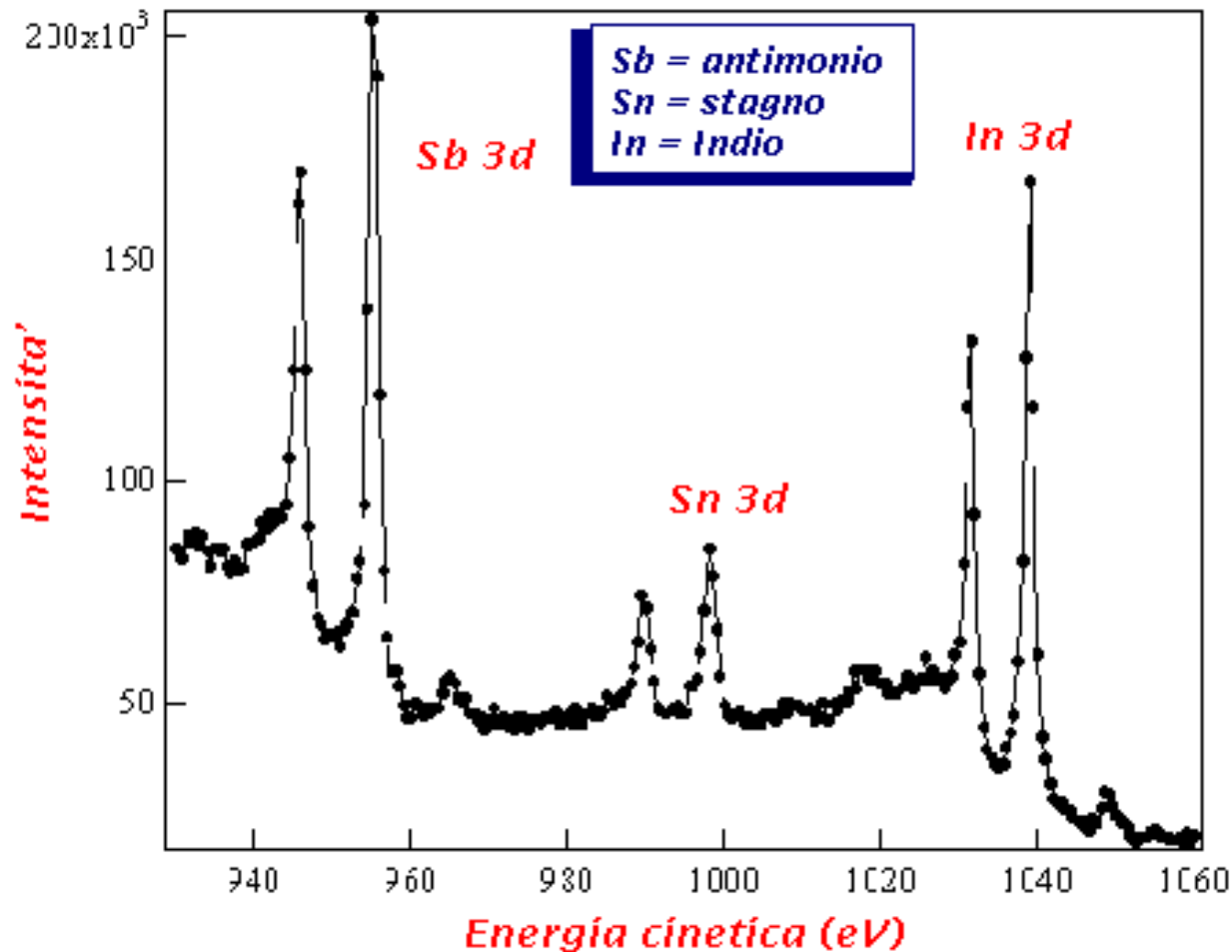
I filtri di raccolta, sia in caso di separazione che non, possono essere analizzati con due tecniche differenti: mediante uso di particelle β , che però non consentono di fare anche l'analisi qualitativa, oppure mediante l'uso di raggi X, che invece consente di individuare i componenti presenti. In realtà è ormai pratica comune dividere i filtri di raccolta in più frazioni, ciascuna delle quali viene destinata ad un tipo specifico di analisi per la determinazione delle frazioni di interesse (com ionica, elementi, carbonio organico, carbonio elementare)

Analisi di particolato

La linea operativa sui filtri di particolato è di solito la seguente:

- taglio del filtro in un numero di parti uguali al numero di tecniche che si vogliono utilizzare
- Per la determinazione delle componenti ioniche:
 - ✓ Estrazione con acqua ultrapura in sonicatore (sistema di estrazione basato sulle microonde)
 - ✓ Analisi in cromatografia ionica (cationi ed anioni)
- Per l'analisi elementare:
 - ✓ Raggi X, Fluorescenza a raggi X (nessun pretrattamento),
 - ✓ Microscopia elettronica (nessun pretrattamento)
 - ✓ Assorbimento atomico:
estrazione in mineralizzatore (attacco acido).
- Per la componente organica
 - ✓ Estrazione con solventi organici oppure mediante trattamento termico e poi analisi in gascromatografia
- Per la lettura di EC ed OC:
 - ✓ Tecniche termogravimetriche oppure ottiche

Analizzatore di particolato

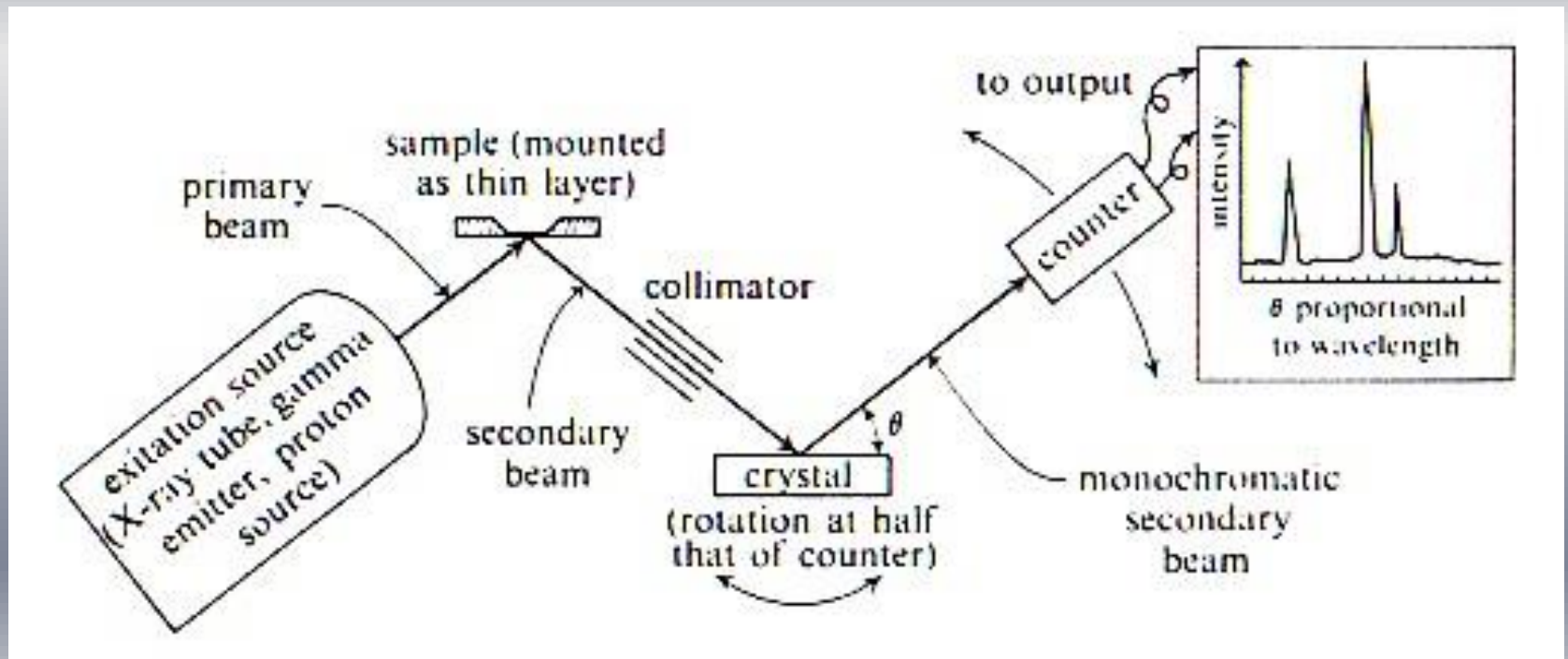


Esempio di risultato dell'analisi ai raggi X:
l'irraggiamento con i raggi X stimola le sostanze presenti ad emettere una loro radiazione specifica, sempre nel campo dei raggi X che consente dunque di individuarle.

Fluorescenza ai raggi X (XRF)

Come visto in precedenza è molto utilizzata nella caratterizzazione del materiale particolato, ma può essere usata anche per l'analisi di campioni di acque e suolo (previo pretrattamento). È anch'essa una tecnica a multi-componenti.

Si basa sulla registrazione della radiazione emessa dopo bombardamento con raggi X ad alta energia; tali radiazioni hanno una frequenza caratteristica per l'atomo da cui sono generate.



Spettrometria di assorbimento

Tale tecnica viene anche detta colorimetria quando si utilizza la radiazione visibile, è utilizzata per il monitoraggio di molti inquinanti sia dell'aria che delle acque (nonché estratti da campioni di suolo).

Principio del metodo

Consiste nella misura della percentuale di radiazione trasmessa (T) quando una radiazione monocromatica passa attraverso il campione da analizzare (la lunghezza d'onda dipende fortemente dall'inquinante che deve essere monitorato) valutata per confronto con la radiazione passante per un campione puro (bianco).

Si definisce assorbanza la quantità:

$$A = -\log \frac{\%T}{100}$$

E dalla legge di Beer:

$$A = abc$$

a= coefficiente di
assorbanza

b= cammino ottico

C=concentrazione

Spettrometria di assorbimento

Table 24.1. Solution Spectrophotometric (Colorimetric) Methods for Pollutants

Pollutant	Reagent and Method
Ammonia	Alkaline mercury(II) iodide reacts with ammonia, producing colloidal orange-brown $\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{I}_3$, which absorbs light between 400 and 500 nanometers (nm)
Arsenic	Reaction of arsine, AsH_3 , with silver diethylthiocarbamate in pyridine, forming a red complex
Boron	Reaction with curcumin, forming red rosocyanine
Bromide	Reaction of hypobromite with phenol red to form bromphenol blue-type indicator
Chlorine	Development of color with orthotolidine
Cyanide	Formation of a blue dye from reaction of cyanogen chloride, CNCl , with pyridine-pyrazolone reagent, measured at 620 nm
Fluoride	Decolorization of a zirconium-dye colloidal precipitate ("lake") by formation of colorless zirconium fluoride and free dye

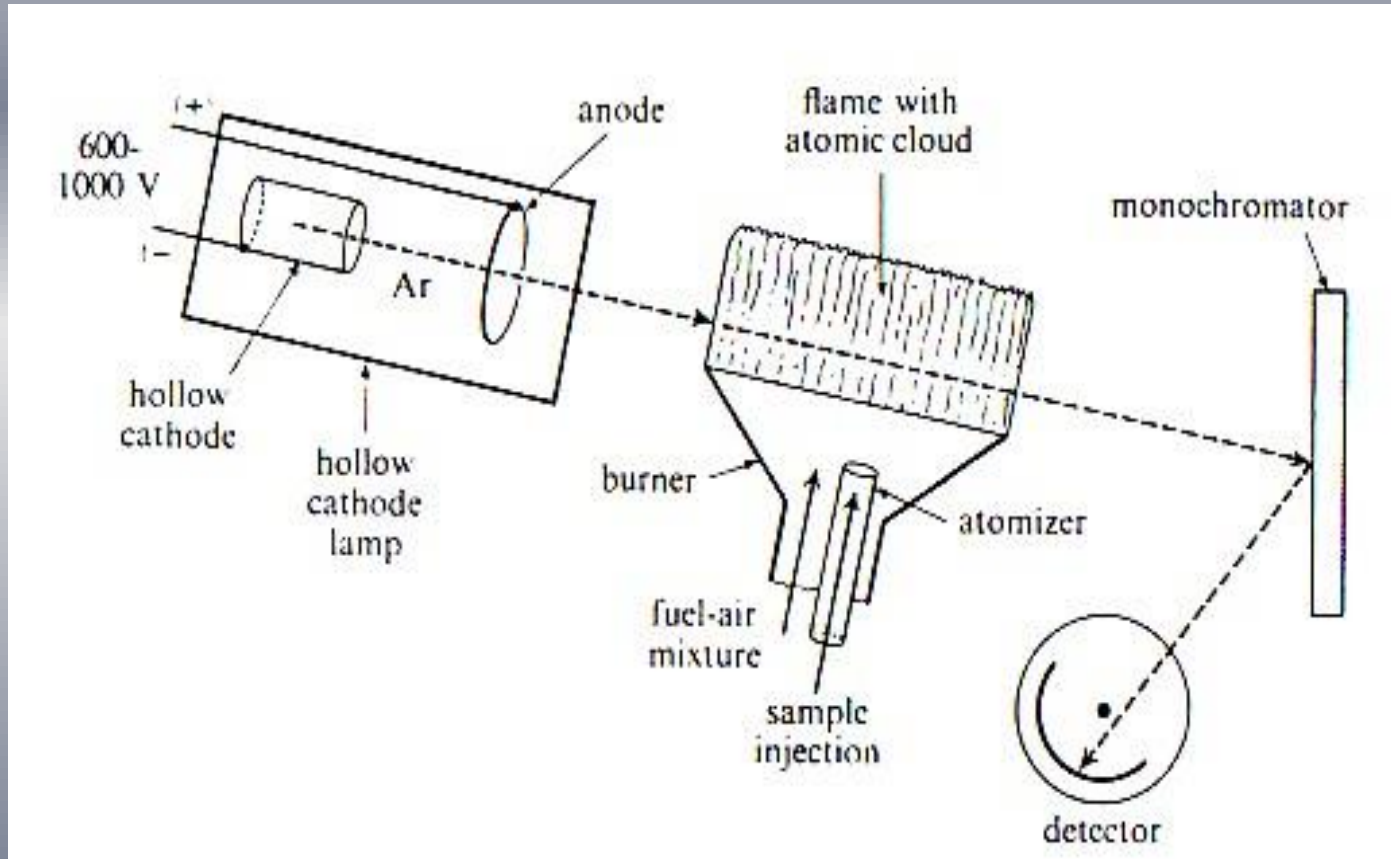
Spettrometria di assorbimento

Nitrate and nitrite	Nitrate is reduced to nitrite, which is diazotized with sulfanilamide and coupled with N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride to produce a highly colored azo dye measured at 540 nm
Nitrogen, Kjeldahl-phenate method	Digestion in sulfuric acid to NH_4^+ followed by treatment with alkaline phenol reagent and sodium hypochlorite to form blue indophenol measured at 630 nm
Phenols	Reaction with 4-aminoantipyrine at pH 10 in the presence of potassium ferricyanide, forming an antipyrine dye which is extracted into pyridine and measured at 460 nm
Phosphate	Reaction with molybdate ion to form a phosphomolybdate which is selectively reduced to intensely colored molybdenum blue
Selenium	Reaction with diaminobenzidine, forming colored species – absorbing at 420 nm
Silica	Formation of molybdosilicic acid with molybdate, followed by reduction to a heteropoly blue measured at 650 nm or 815 nm
Sulfide	Formation of methylene blue
Sulfur dioxide	Collection of SO_2 gas in tetrachloromercurate solution, followed by reaction with formaldehyde and pararosaniline hydrochloride, to form a red-violet dye measured at 548 nm
Surfactants	Reaction with methylene blue to form blue salt
Tannin and lignin	Blue color from tungstophosphoric and molybdophosphoric acids

Spettrometria di assorbimento atomico

È la tecnica maggiormente utilizzata per le analisi sui metalli.

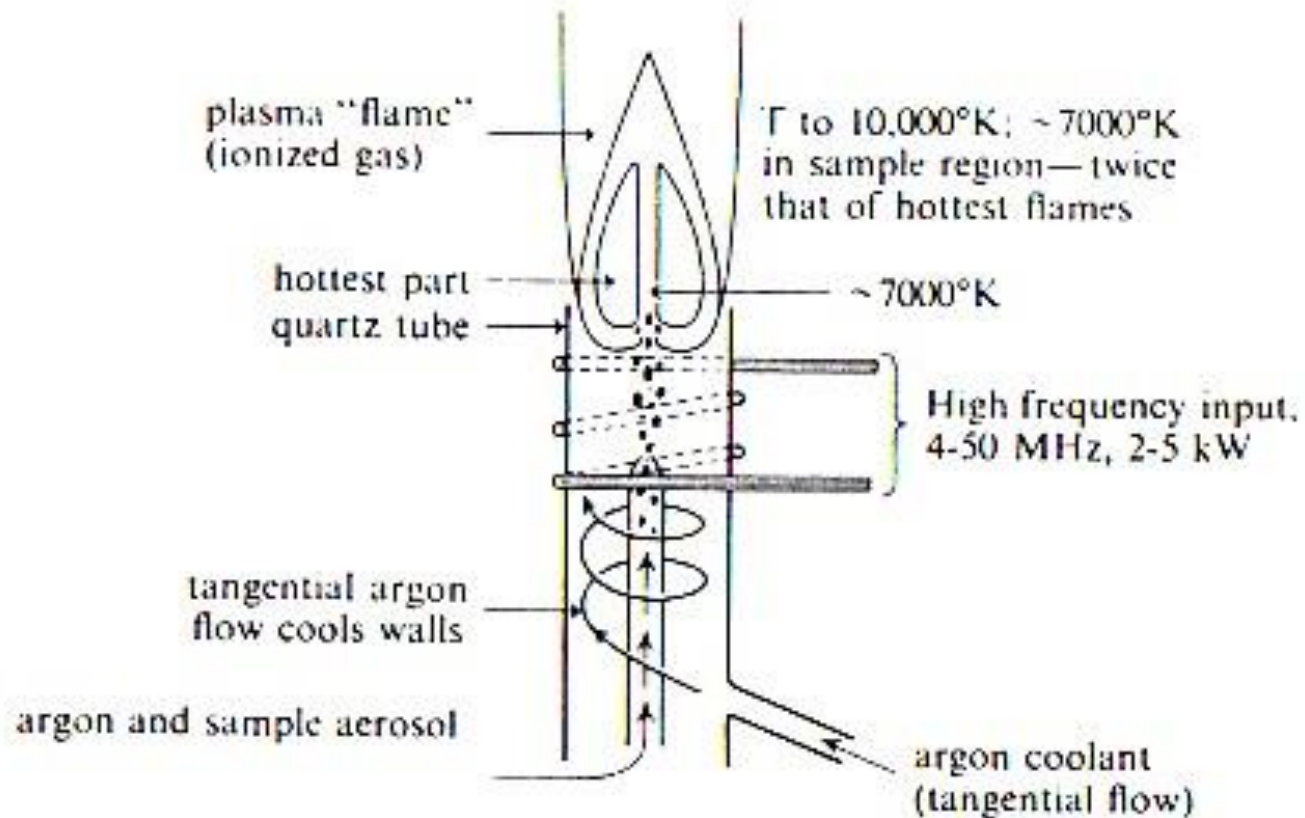
È basata sull'assorbimento della radiazione monocromatica da parte degli atomi del metallo che deve essere analizzato.



Alluminio, bario, berillio, cadmio, calcio, cromo, rame, ferro, piombo, litio, durezza, manganese, argento, sodio, stronzio, zinco

Tecnica di emissione atomica

Con questa tecnica si misura la radiazione generata in opportune condizioni (alte temperature) da specifici elementi.



Alluminio, arsenico, boro, berillio, boro, cadmio, calcio, cromo, rame, ferro, piombo, litio, magnesio, manganese, silice, vanadio, zinco, stronzio, sodio, rame