



*Giornata di Studio dedicata alla
presentazione dei risultati del progetto
BRIC 2016 – ID 12*

Principi di funzionamento delle tecniche analitiche usate per la rivelazione di sostanze in aria

Angelo Cecinato, Catia Balducci, Paola Romagnoli, Mattia Perilli

Aula Magna dell'Università di Roma Tre

25 Ottobre 2019

Inquinamento e ambiente

La presenza dell'uomo impatta sull'ambiente fisico (dighe e canali, cambiamenti climatici, fiumi interrati, miniere e scavi, barriere ai venti, dragaggi ed erosione delle coste...)



La presenza dell'uomo impatta sull'ambiente chimico (emissioni industriali e veicolari, rifiuti urbani e agricoli, detersivi e deodoranti, fumo di sigaretta, medicine...)

La presenza dell'uomo impatta sull'ambiente biologico (OGM, allevamenti e coltivazioni intensive, tossicità acuta e cronica, mutazioni e selezione delle specie...)



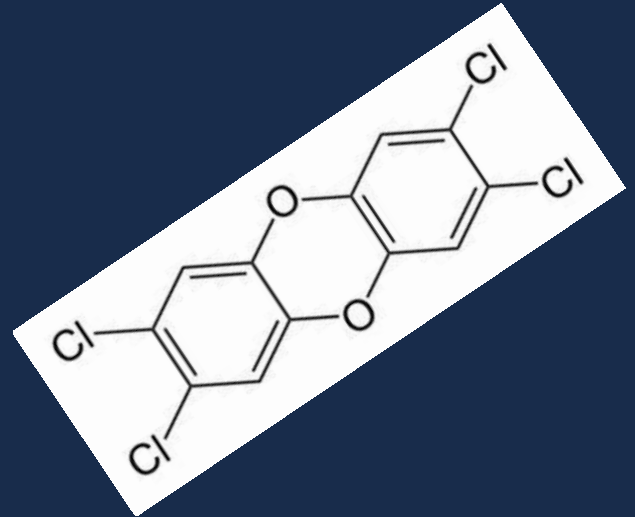
Impatto dell'inquinamento sull'ambiente chimico

L'atmosfera contiene due tipi di componenti:



Macro-componenti: elementi, composti e miscele presenti in grandi percentuali: ossigeno, azoto, argon, sale, polveri, sabbia, acqua, anidride carbonica, metano; ozono e ossidi d'azoto...

Micro-componenti: elementi, composti e miscele in piccole o minime quantità: benzene, arsenico, piombo, idrocarburi, diossine, radicali, ...



I componenti dell'atmosfera sono classificati in due distinte categorie, in base alla natura chimica o allo stato d'aggregazione

- ☼ per la natura chimica:

 - inorganici (elementi, sali, acidi e basi, ossidi)

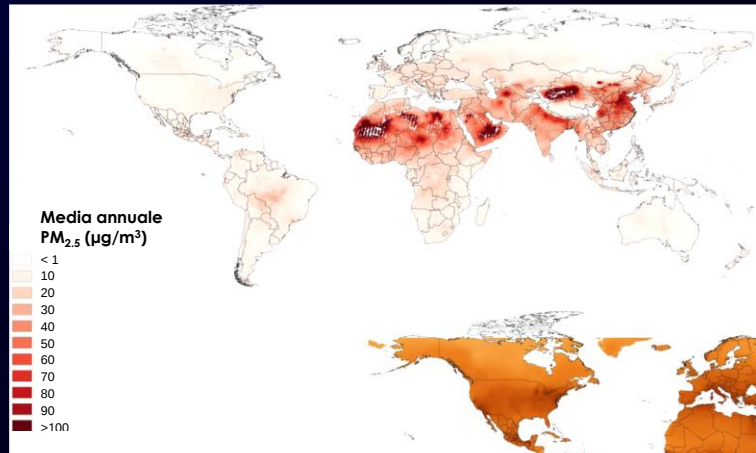
 - organici (specie idrocarboniose)

- ☼ per lo stato d'aggregazione:

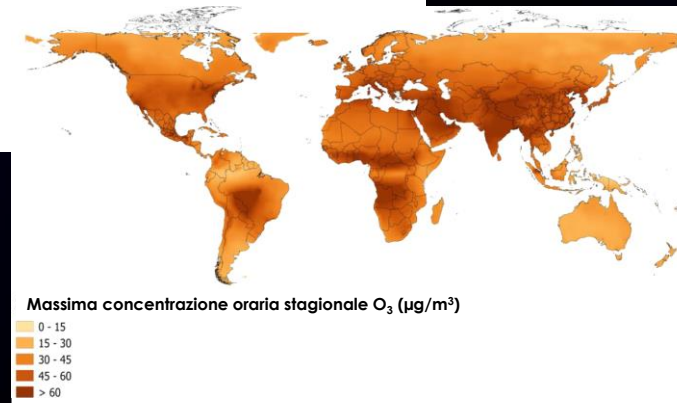
 - gassosi (gas permanenti e vapori)

 - condensati (liquidi e solidi)

Gli inquinanti tradizionali (macro) continuano ad essere causa di morti premature



$PM_{2.5}$: 2,9 milioni



Ozono: 220.000

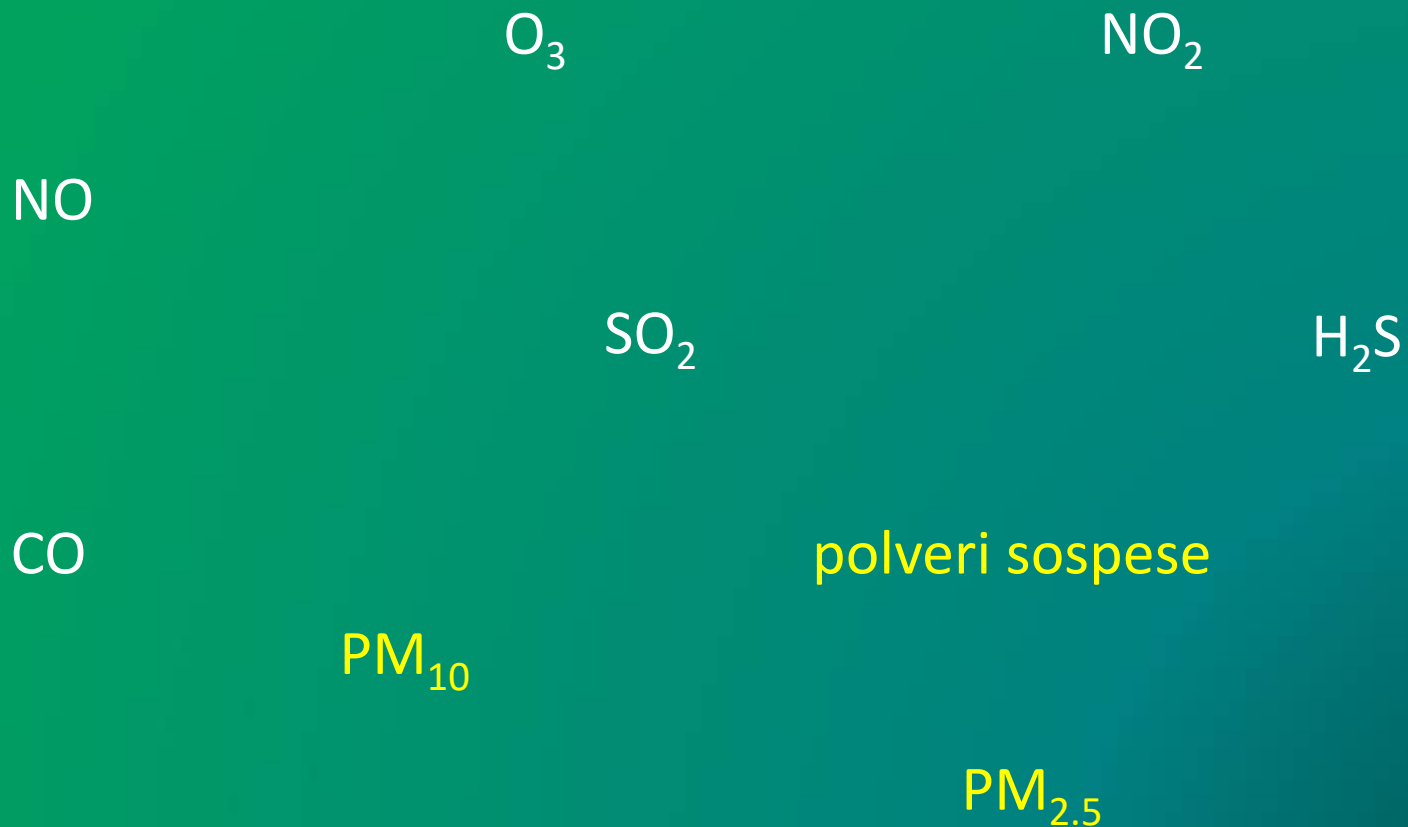


tuttavia, oggi l'interesse si è acceso anche sui micro-contaminanti, che impattano fortemente sull'uomo.

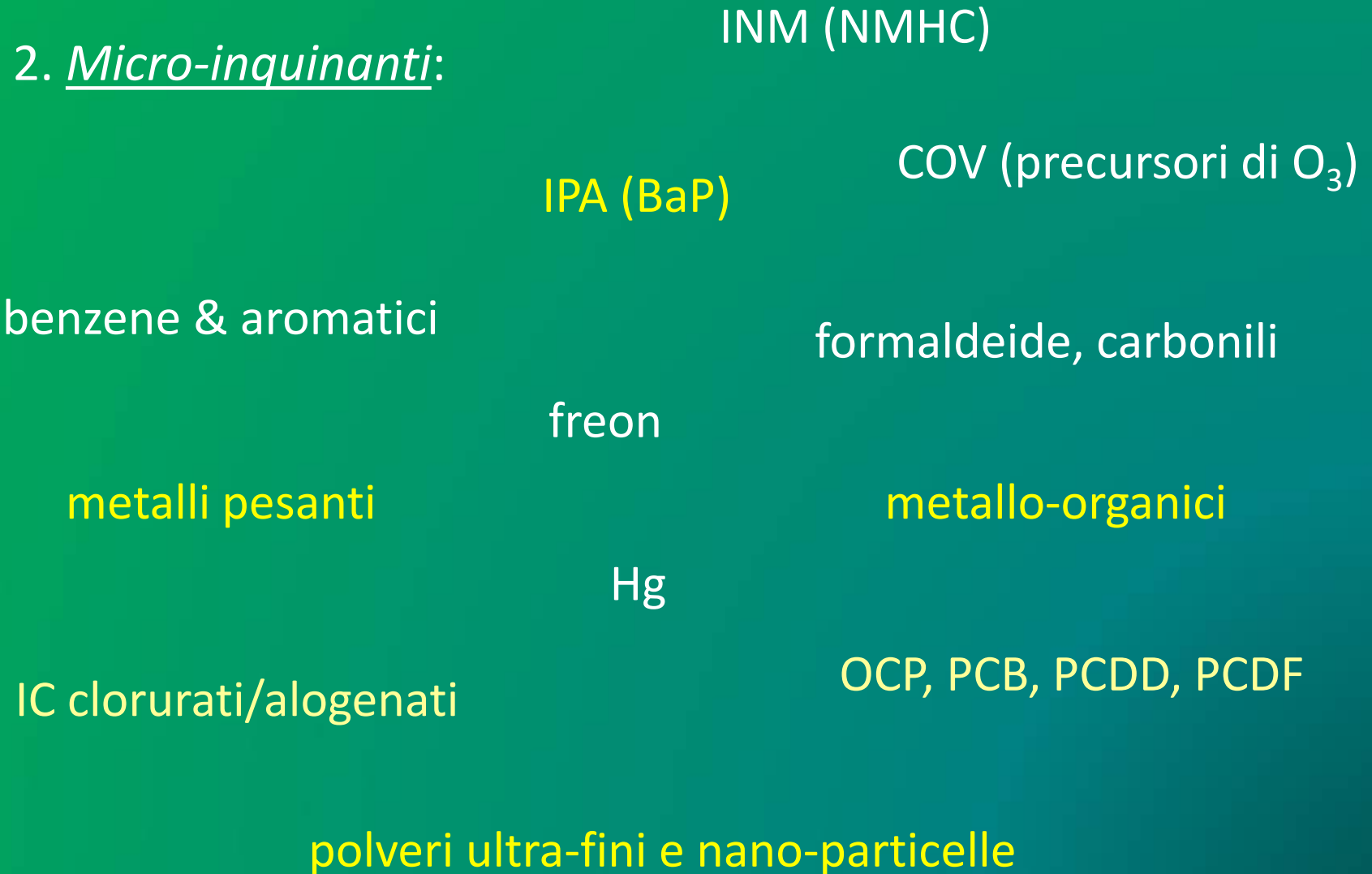


La legislazione ambientale sanitaria è concentrata su:

1. Macro-inquinanti:



La legislazione ambientale sanitaria è concentrata su:



Dispositivi e metodi per la misura di contaminanti

I dispositivi e i metodi usati per la misura degli inquinanti dell'aria sono assai numerosi e diversi.

Le misure sono possibili effettuate sfruttando il comportamento fisico, chimico o biologico delle specie da individuare e quantificare.

- ★ Metodi fisici: basati sull'assorbimento o emissione di luce (ultravioletta, visibile o infrarossa, Raman) ovvero di cariche elettriche
- ★ Metodi chimici: basati sulla separazione fisica/virtuale delle sostanze *target* dal substrato e sull'osservazione delle loro proprietà (volatilità, colore, formula molecolare, affinità chimica, acidità...)
- ★ Metodi biologici: basati sugli effetti indotti dalle specie esaminate su organismi viventi (test specifici e a-specifici, su cellule, batteri, muffe, lieviti...)

Dispositivi e metodi per la misura d'inquinanti

Gli strumenti disponibili per misurare gli inquinanti dell'aria sono di vario tipo.

Per la scelta operativa dei metodi e dispositivi, i principali parametri sono le concentrazioni che le specie *target* raggiungono in aria e gli obiettivi dell'indagine.



I macro-inquinanti sono di norma misurati in modalità continua o semicontinua (ad intervalli inferiori al minuto) con strumentazione automatica. Le misurazioni sono in tempo reale, fruibili da remoto.



Gli strumenti dedicati (*monitor*) forniscono la misura delle specie target esattamente nel luogo dove lo strumento è collocato (misura spazialmente puntuale).

Dispositivi e metodi per la misura d'inquinanti



Le tecnologie attuali rendono disponibili dispositivi capaci d'identificare e quantificare sostanze in quantità minime (10^{-15} - 10^{-12} g).



Per la scelta dei metodi e strumenti analitici diventano importanti l'impegno di risorse umane e materiali, la copertura cronologica e spaziale, l'affidabilità della misura, gli obiettivi, i risultati attesi.



Per le componenti ambientali (comprese le specie chimiche), si distinguono due approcci:



i monitoraggi: misurazioni di inquinanti (normati), effettuate con metodi e dispositivi standard o equiparati agli standard;



le misure: misurazioni di contaminanti (non necessariamente normati), effettuate con metodi di cui sono note le specifiche di qualità.

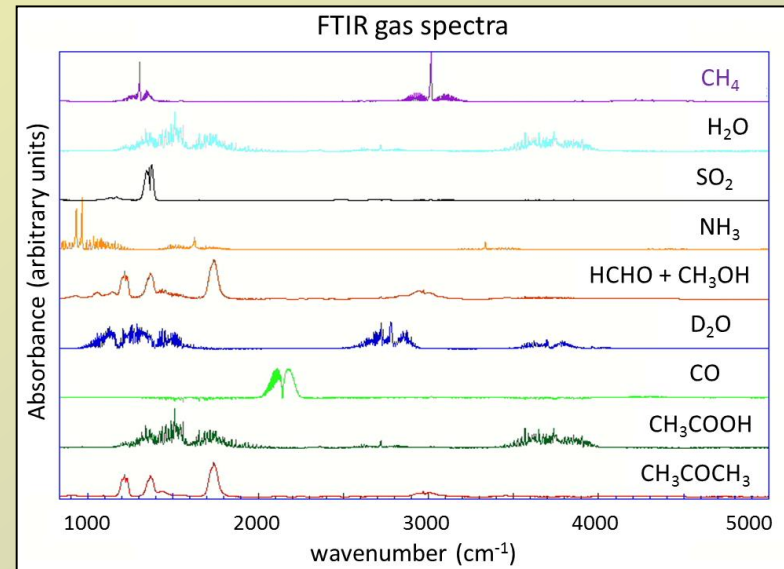
Misuratori automatici d'inquinanti (macro-componenti)

impiegati per la misura di: SO_2 , CO , NO , O_3 , NO_2 , N_2O ,

H_2S , NH_3 , THC , NMHC ...



gli strumenti hanno in sé le procedure, in quanto gestiti da software dedicati

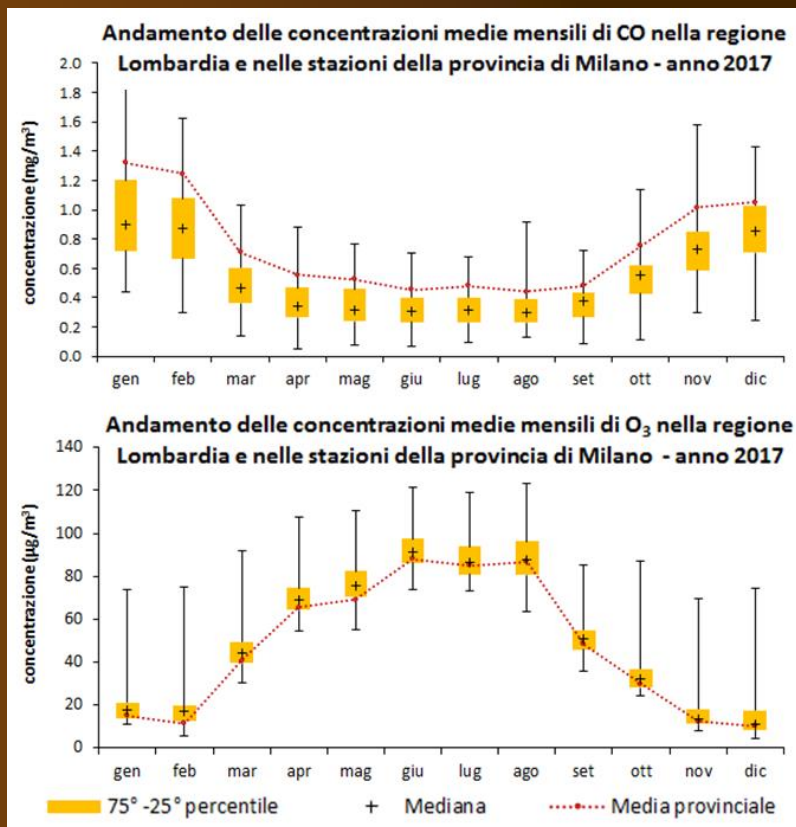
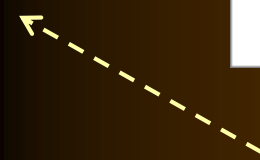
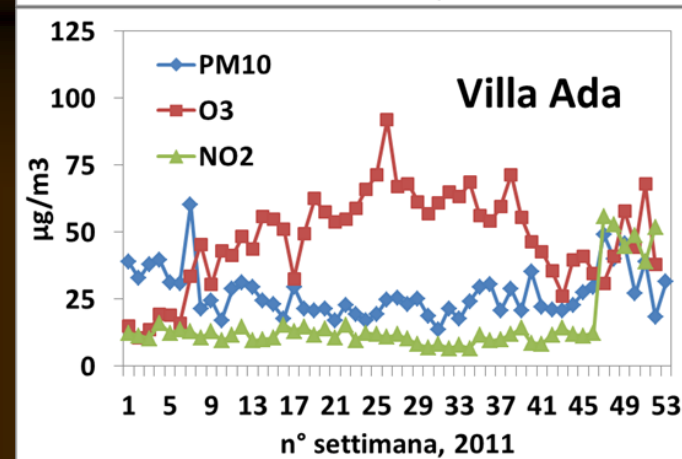
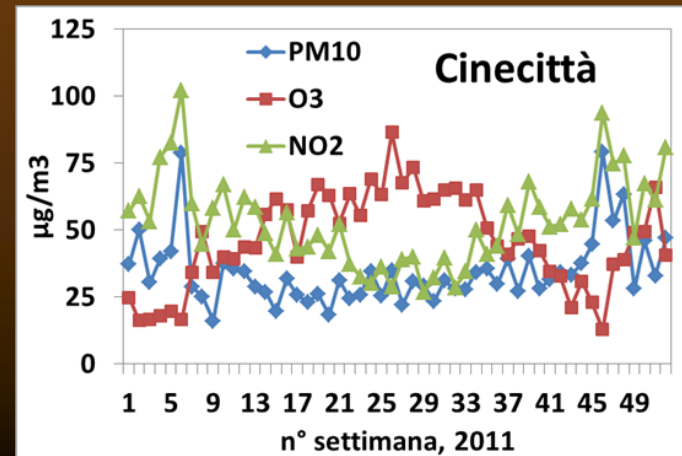


Impiegati in configurazione multipla per la misura dell'inquinamento (stazioni mobili e reti di monitoraggio) e delle emissioni industriali. Sovente essi sono accoppiati con stazioni meteorologiche portatili.



Misuratori automatici d'inquinanti (macro-componenti)

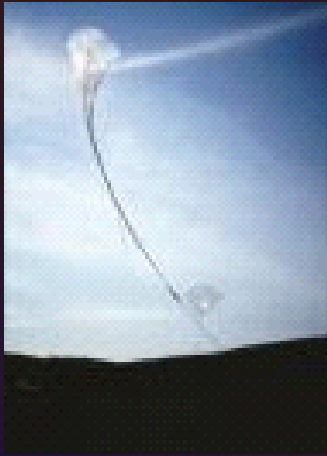
Concentrazioni medie mensili di PM_{10} ,
 O_3 e NO_2 a Roma, 2011



Concentrazioni medie mensili di
 CO e O_3 a Milano e provincia, 2017

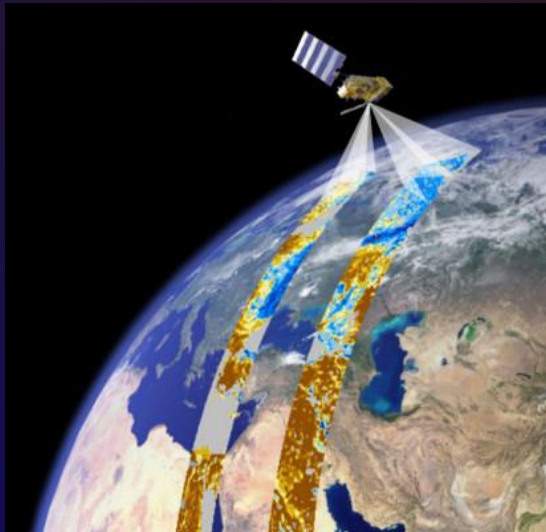
Dispositivi e metodi per la misura d'inquinanti

remote sensing



palloni / aerostati

monitoraggio di inquinanti
dallo spazio, ovvero misura
dal suolo di inquinanti
dell'alta atmosfera



satelliti



aerei, alianti

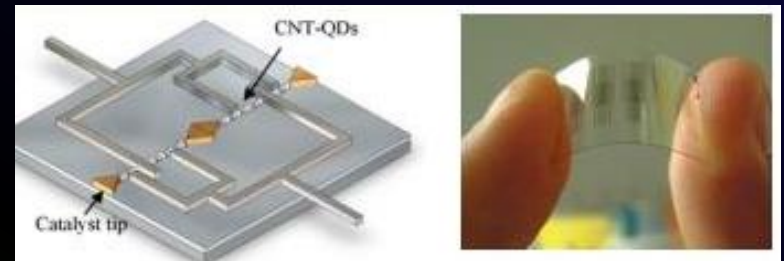
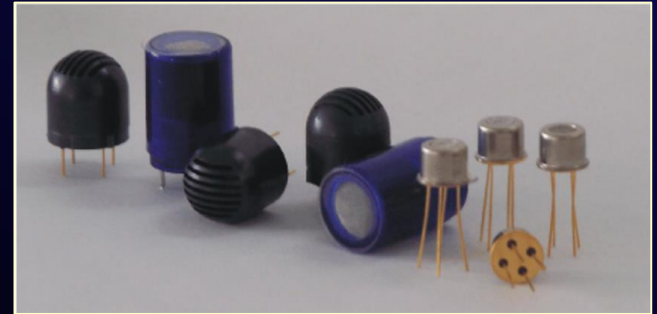
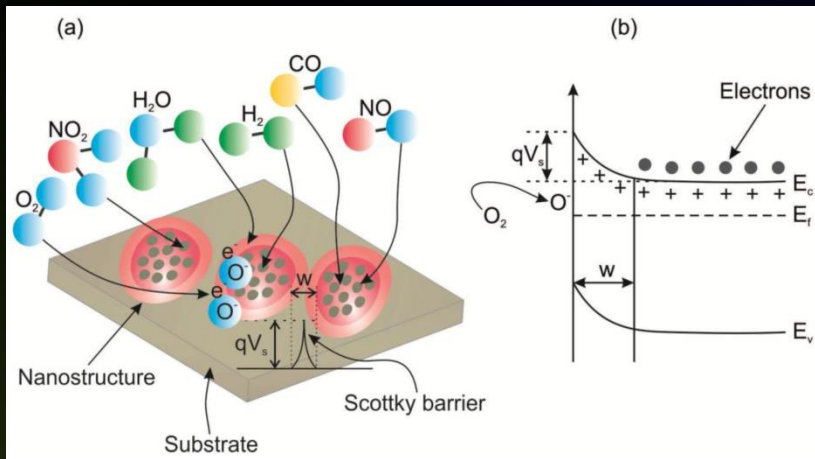


stazioni meteo

Misuratori automatici d'inquinanti (sensori)

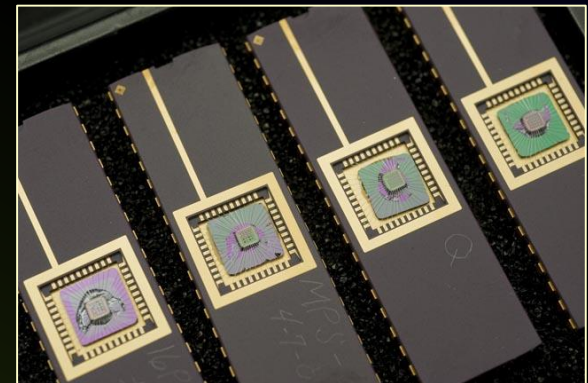
sensori fisici (T, P, RH%,...)

sensori chimici



sensori attivi: eccitati, producono un segnale elettrico

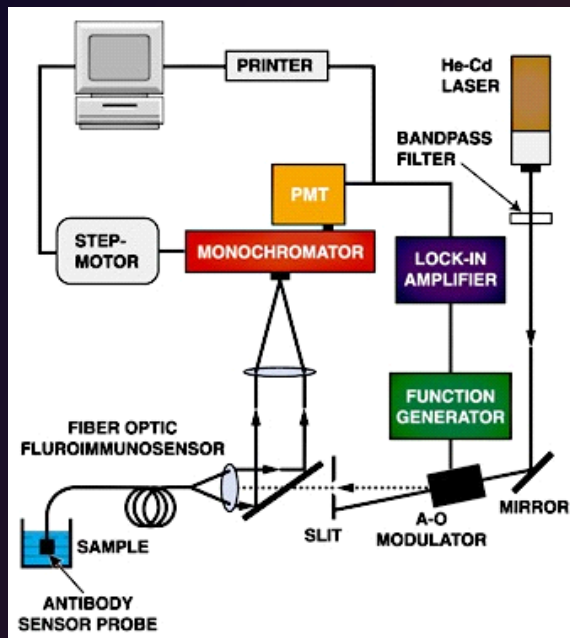
sensori passivi: mutano colore o emettono luce



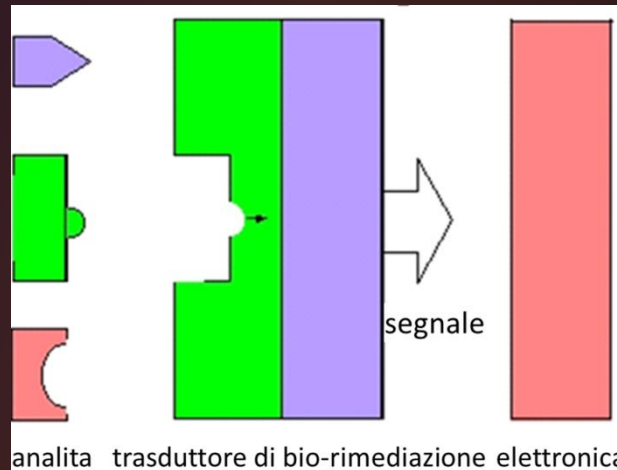
Dispositivi e metodi per la misura d'inquinanti

biosensori

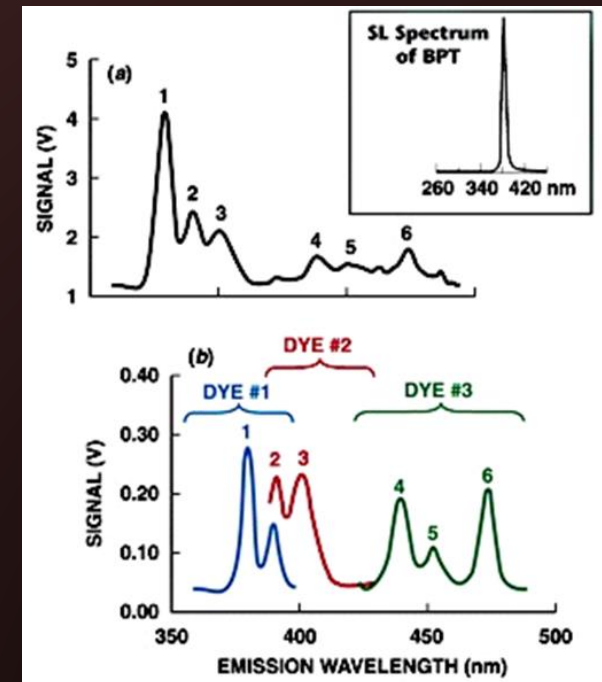
dispositivi biologici capaci di misurare un inquinante o gli effetti da esso indotti sugli organismi



strumento

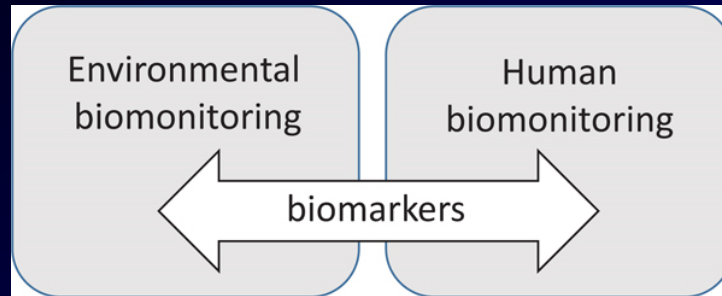


principio

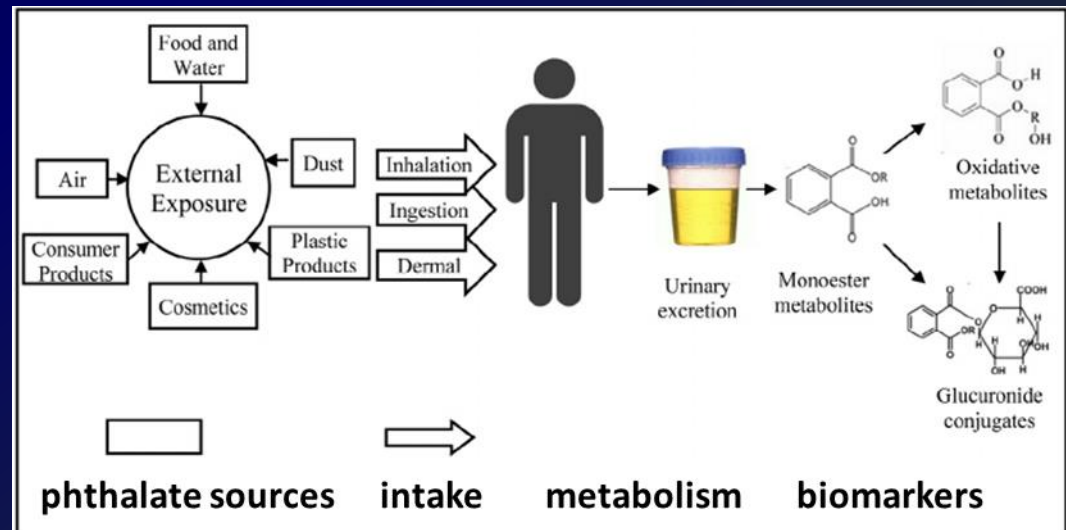
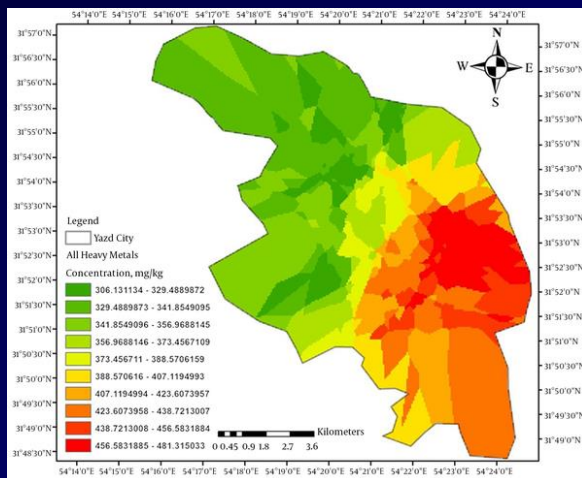
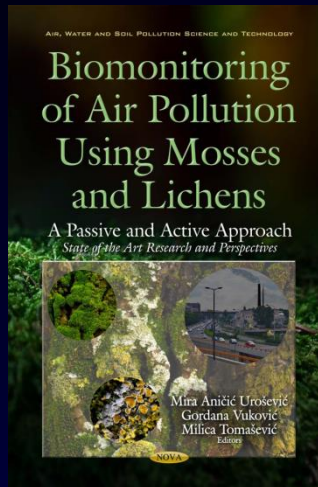


registrazione del segnale

Procedure e strumenti di misura di microcontaminanti/microinquinanti



biomonitoring

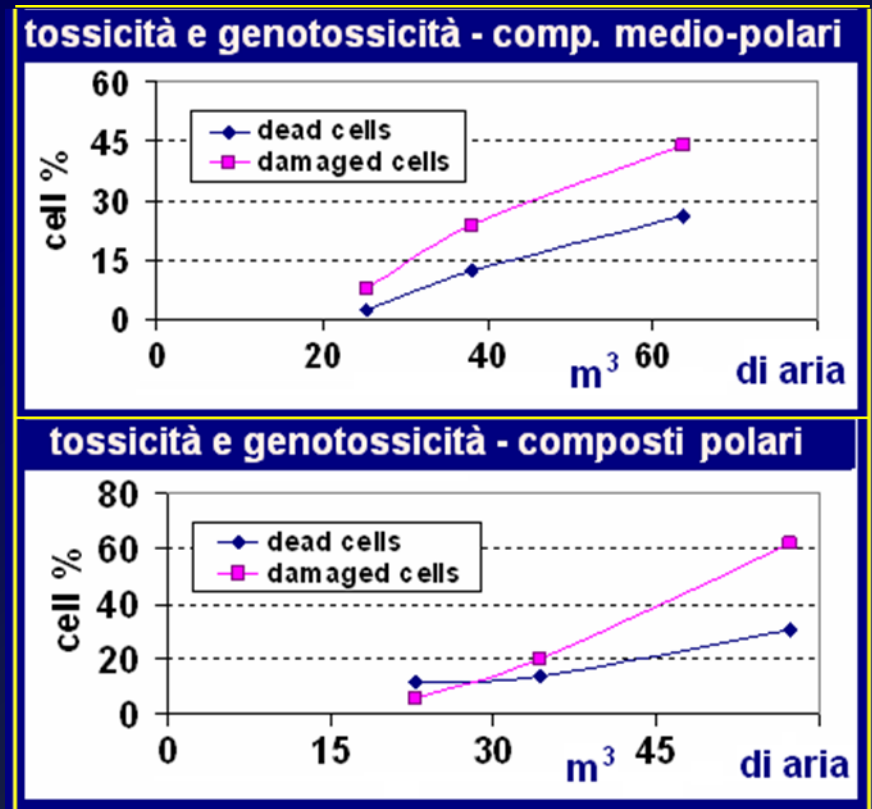
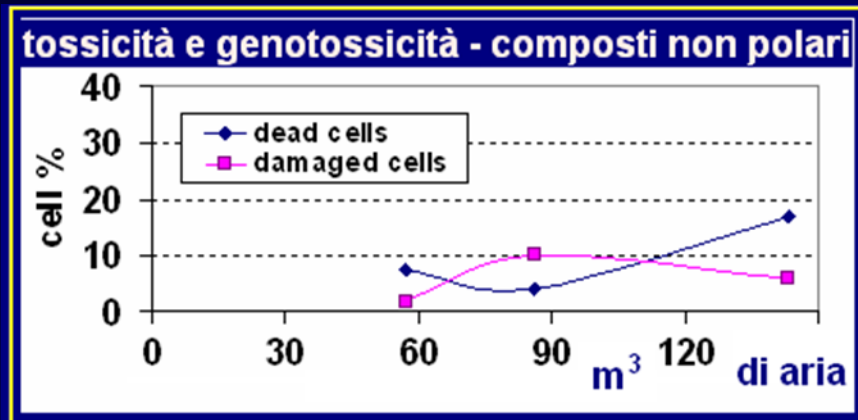


Procedure e strumenti di misura di microcontaminanti/microinquinanti

biomonitoring

Cito- e geno-tossicità indotte dagli estratti del particolato atmosferico di Roma

test condotti su cellule umane

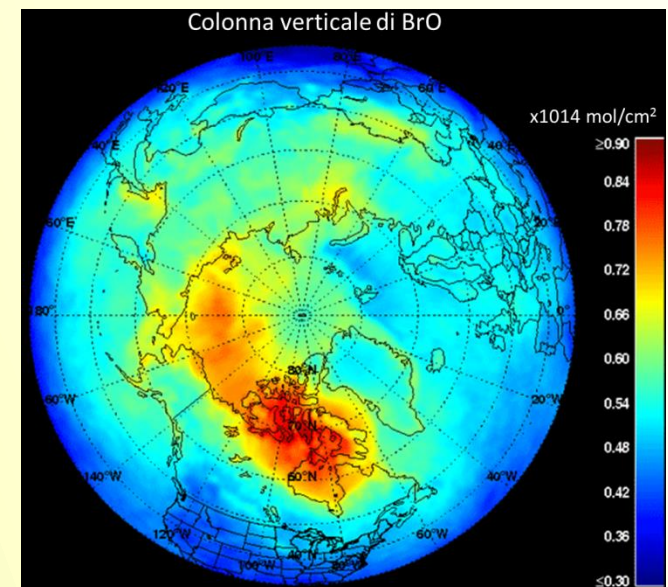
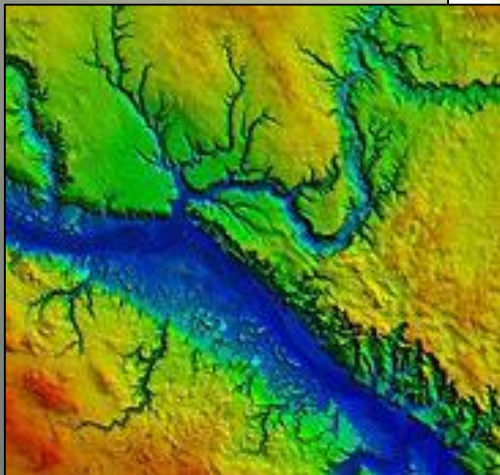
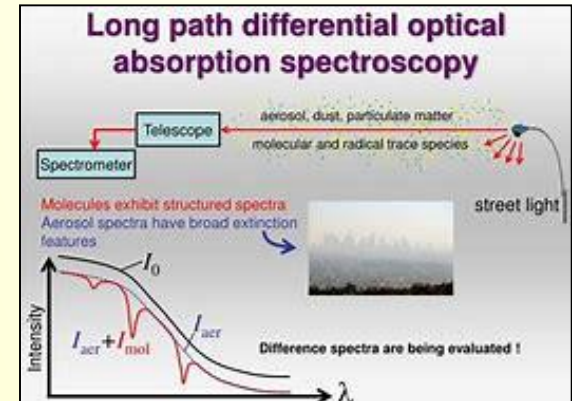


Misuratori automatici d'inquinanti atmosferici con concentrazioni intermedie

1. arricchimento spaziale. Strumenti utilizzati per il monitoraggio a distanza (strumenti ottici: LIDAR, DOAS)

lidar – doas:

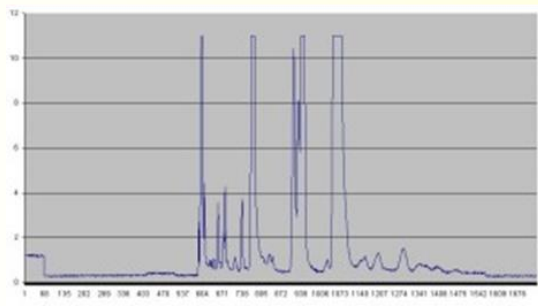
consentono di misurare specie instabili (p. es. radicali liberi)



misuratori automatici d'inquinanti atmosferici con concentrazioni intermedie

2. arricchimento temporale. Strumenti utilizzati per il monitoraggio semi-continuo

benzene, idrocarburi aromatici (BTEX)



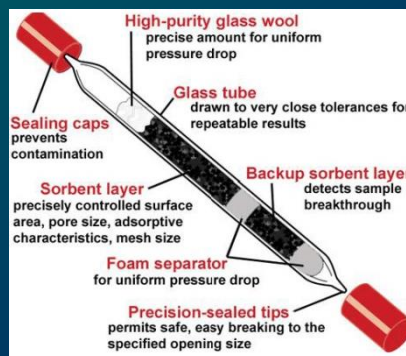
polveri sospese (EC/OC, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁, n/cm³)



Procedure e strumenti di misura di micro-contaminanti e micro- inquinanti

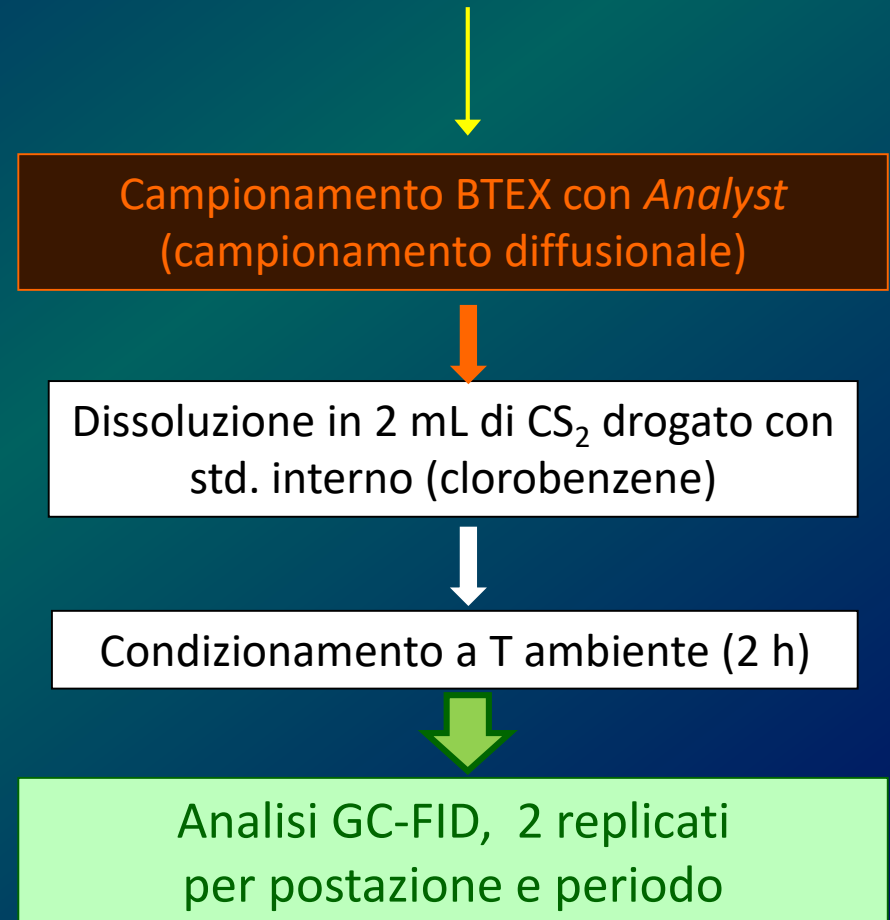
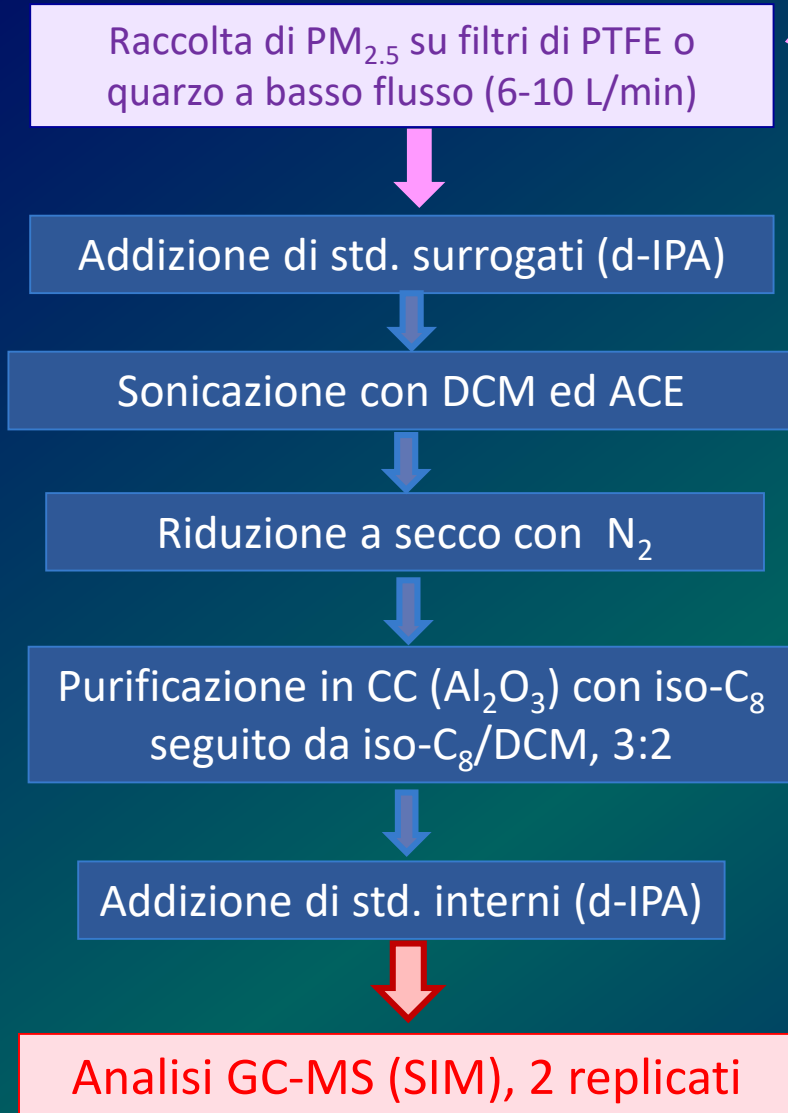
Per la misura di micro-componenti si procede per fasi successive:

- ▲ campionamento (arricchimento del campione dall'atmosfera);
- ▲ recupero dell'analita dal substrato (ed eventuale eliminazione d' interferenti);
- ▲ analisi chimica strumentale



Procedure e strumenti di misura di micro-contaminanti e micro-inquinanti

Linee di flusso della misura di IPA e BTEX in aria indoor



Procedure e strumenti di misura di microcontaminanti/microinquinanti

campionamento di gas dall'aria

campionatori diffusionali:
per prelievi d'inquinanti su medio-lungo periodo



piatto / a disco

applicati per SO_2 , NO_x , carbonili, O_3 , CO_2 , BTX...

radiale

a bicchiere



ad ago di siringa (SPME)

Procedure e strumenti di misura di microcontaminanti/microinquinanti

campionamento di gas dall'aria



bombole, canestri:
cilindri vuoti, riempiti d'aria



trappole, cartucce:
letti adsorbenti, che trattengono le
sostanze in esame dall'aria aspirata

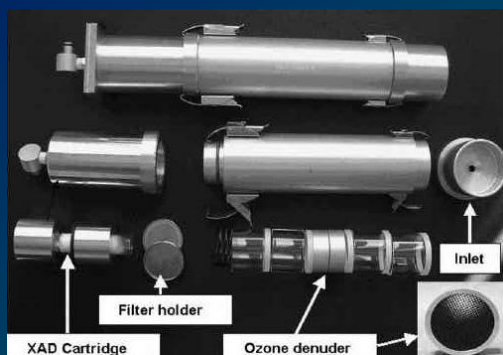


Procedure e strumenti di misura di microcontaminanti/microinquinanti

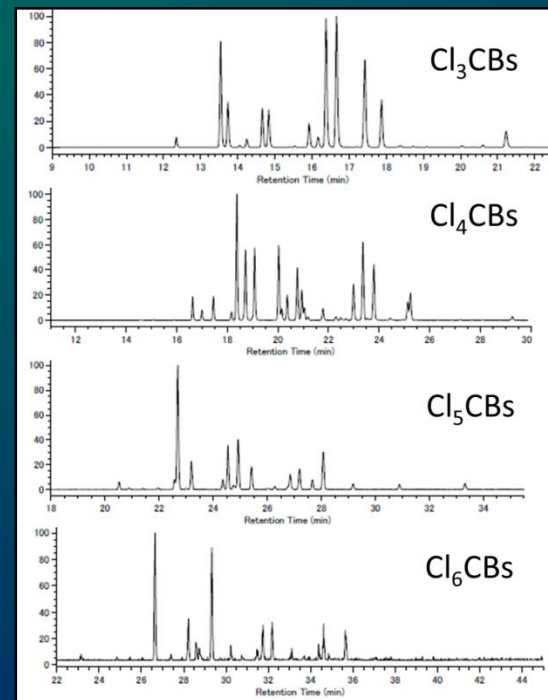
campionamento di gas dall'aria

campionatori ad alto flusso virtuale: per prelievi su lungo periodo

applicati per IPA, pesticidi, PCB, PBDE,...



*denuder -
filtro*



PAS (con ampia superficie adsorbente)

Estrazione/recupero della frazione organica dal substrato/dispositivo di raccolta

soxhlet



estrazione in fase supercritica

termo-
desorbimento



digestione con microonde



estrazione forzata con pressione
e temperatura



bagno
ultrasonico

Dispositivi per la raccolta del particolato sospeso

campionatori a
basso volume



campionatori
personali



Impattori a cascata



campionatori ad alto volume

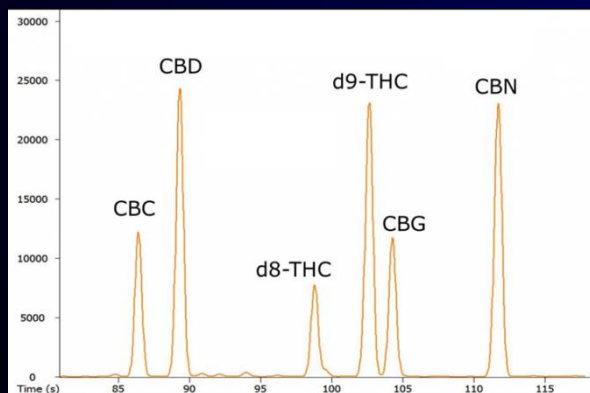


Analisi chimica strumentale di micro-contaminanti

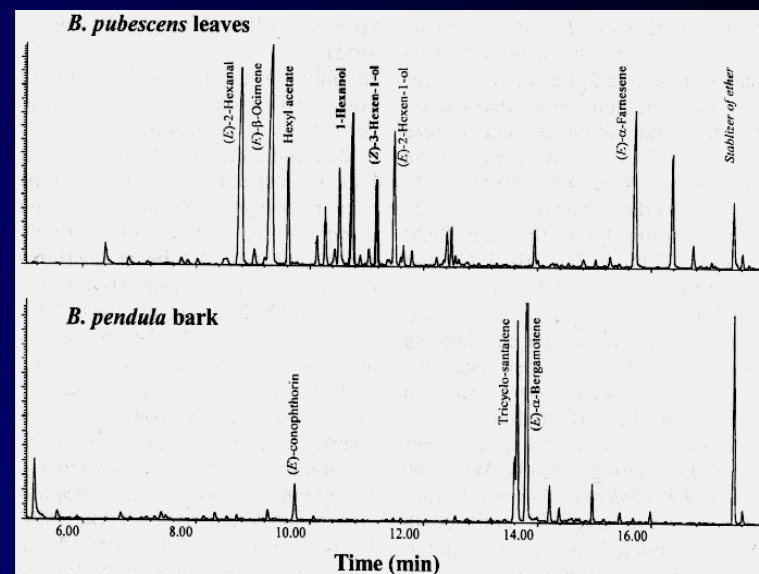
analisi di composti organici volatili:
gascromatografia capillare



*analisi GC di terpeni nelle
emissioni foliari*

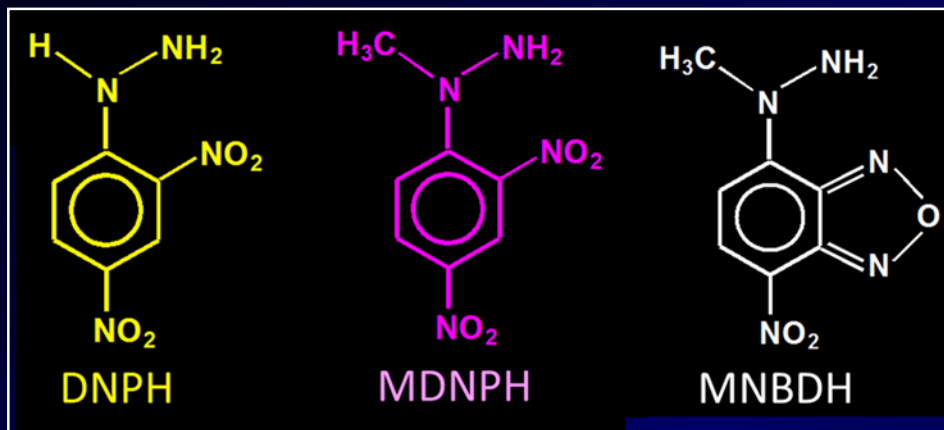


analisi GC di sostanze illecite

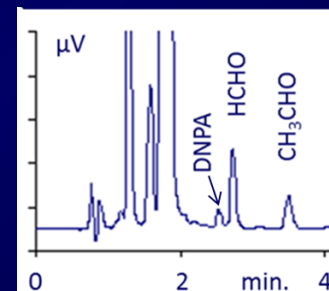


Analisi chimica strumentale di micro-contaminanti

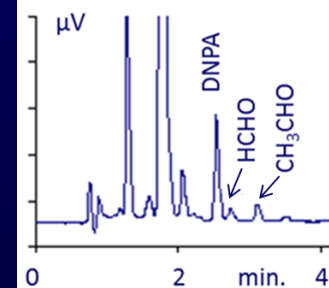
analisi di composti carbonilici:
HPLC-UV, HPLC-MS



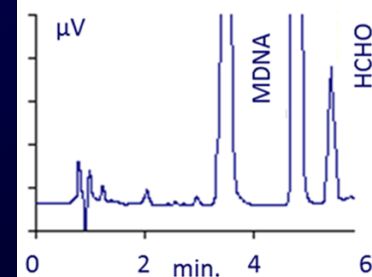
DNPH: HPLC-UV
($\lambda = 360 \text{ nm}$)



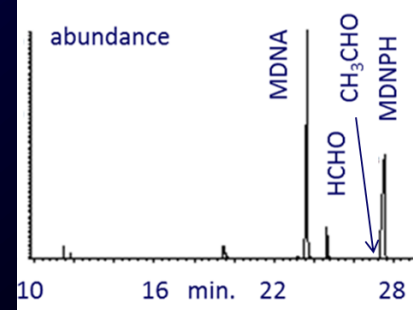
DNPH: HPLC-UV
($\lambda = 300 \text{ nm}$)



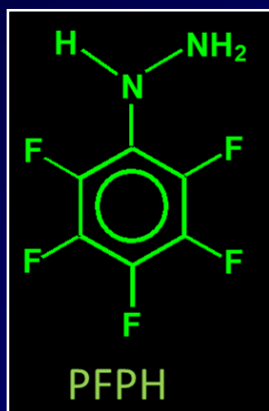
MDNPH: HPLC-UV
UV ($\lambda = 360 \text{ nm}$)



MDNPH: GC-MS

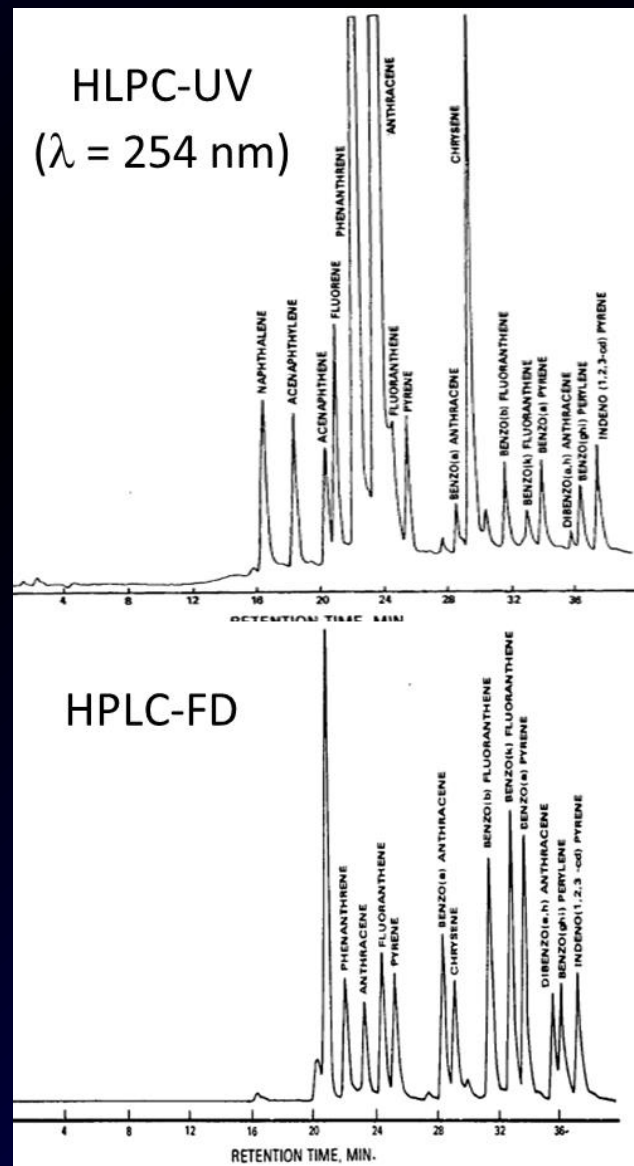


GC-MS



Analisi chimica strumentale di micro-contaminanti

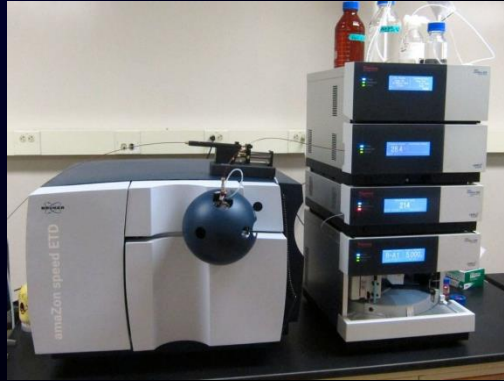
analisi di idrocarburi policiclici aromatici (HPLC-UV, HPLC-FD)



Analisi chimica per spettrometra di massa

GC-MS (per molecole organiche volatilizzabili)

HPLC-MS (per specie polari e termolabili)



ICP-MS (per metalli)



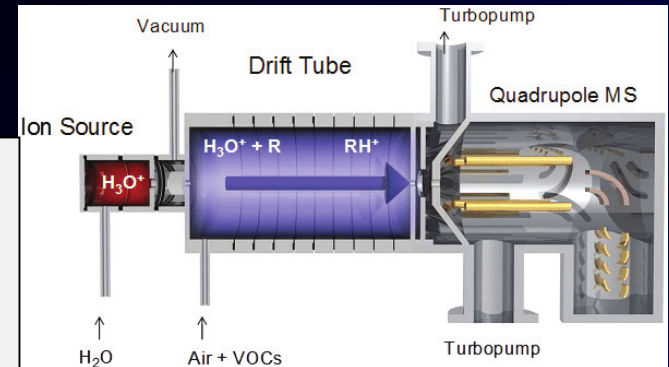
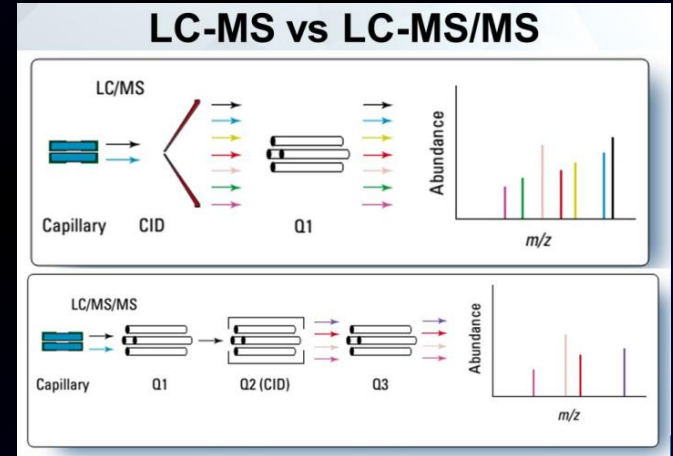
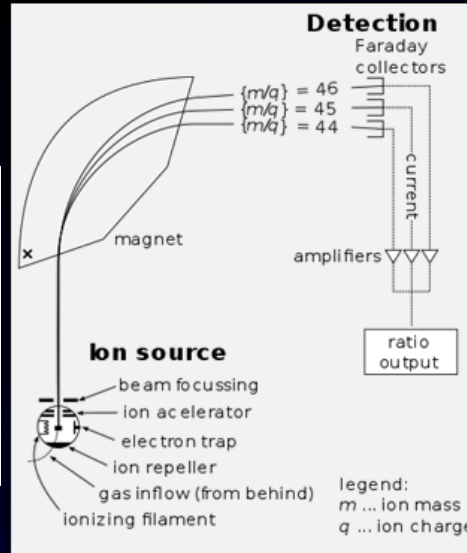
Elements analyzing using ICP/MS

Legend:

- AA/ICP/ICP-MS (Light Blue)
- ICP/ICP-MS (Dark Blue)
- ICP-MS (Gold)
- Not measurable (Pink)

Periodic Table Analysis:

- Not measurable (Pink):** H, He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn.
- ICP-MS (Gold):** Fr, Ra, Ac, Po, At.
- ICP/ICP-MS (Dark Blue):** B, C, N, O, F, Si, P, S, Cl, Br, I, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lw.
- AA/ICP/ICP-MS (Light Blue):** Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al, Ga, Ge, As, Se, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Xe, Cs, Ba, La, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Ac, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lw.



PTRMS

IRMS

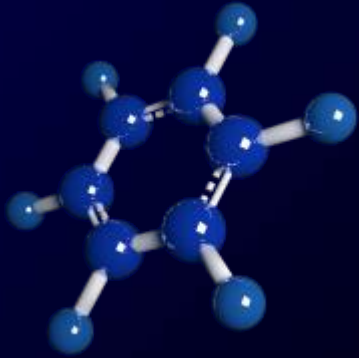
AMS...

Componenti gassosi dell'atmosfera

Gli inquinanti gassosi, inclusi gli idrocarburi, indipendentemente dalle proprietà chimiche sono classificati in base agli effetti indotti sull'uomo e sull'ambiente



Idrocarburi tossici

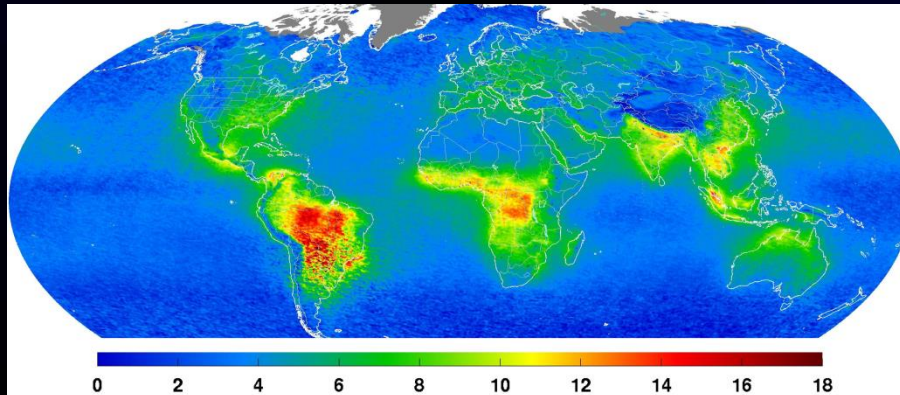
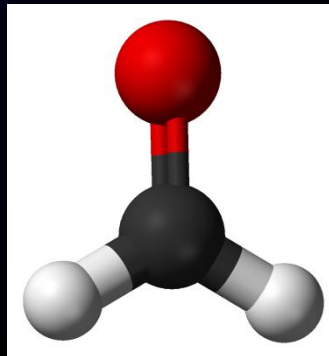


benzene

benzene in Europa



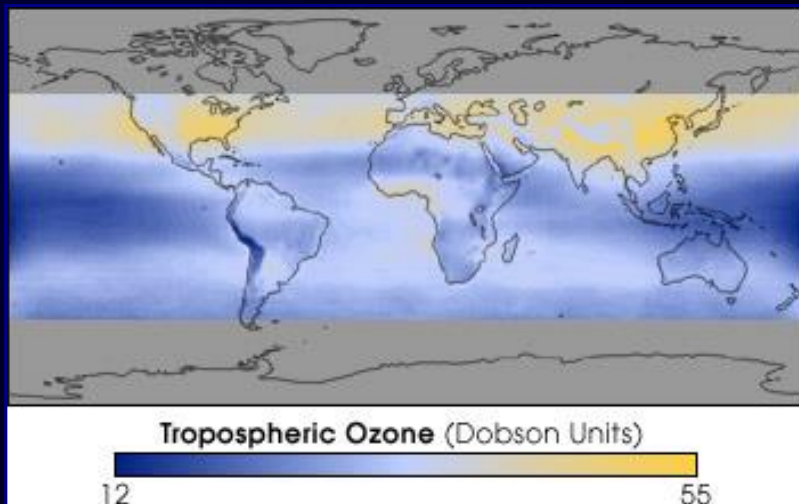
formaldeide



formaldeide nella
troposfera terrestre

Smog fotochimico

(generazione di ozono troposferico e “brown carbon”)



Lo smog fotochimico si forma quando gli idrocarburi reagiscono con gli ossidanti atmosferici (ozono, radicali liberi e ossidi d'azoto) in presenza di luce solare.

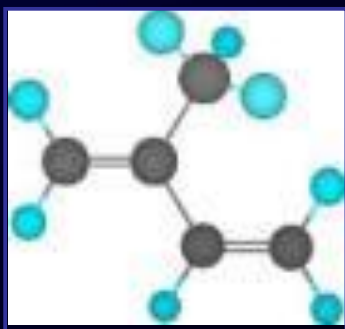
In ogni evento di smog fotochimico l'ozono è presente sia come reagente, sia come prodotto di reazione.

La sua presenza, assieme a quella del PM secondario, aumenta la tossicità dell'aria.



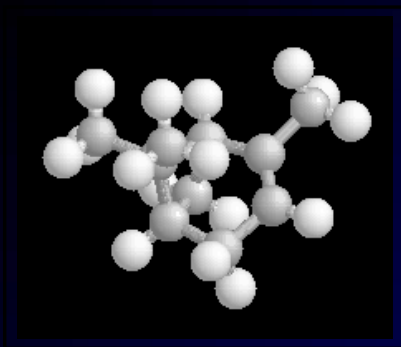
Smog fotochimico

La generazione di smog fotochimico richiede la presenza d'idrocarburi reattivi, alcuni di fonte naturale (isoprene e terpeni), altri rilasciati in aria dalle attività umane (aromatici, alcheni, formaldeide...)



isoprene

terpenes



Perché si sviluppi, il processo ha bisogno della presenza di luce solare attiva che facilita la formazione di ozono e radicali liberi (OH, O₂H). Il risultato finale è la formazione di nano/microparticelle carboniose



smog fotochimico a Kuala Lumpur e Città del Messico

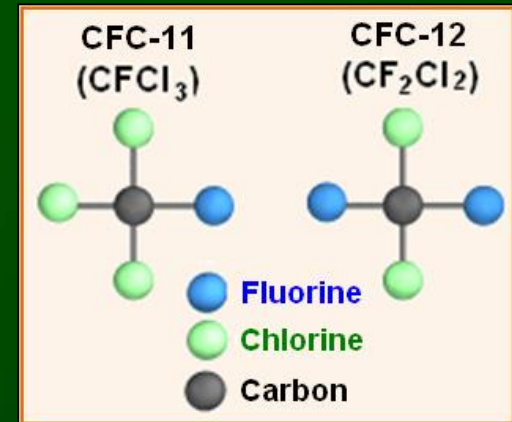
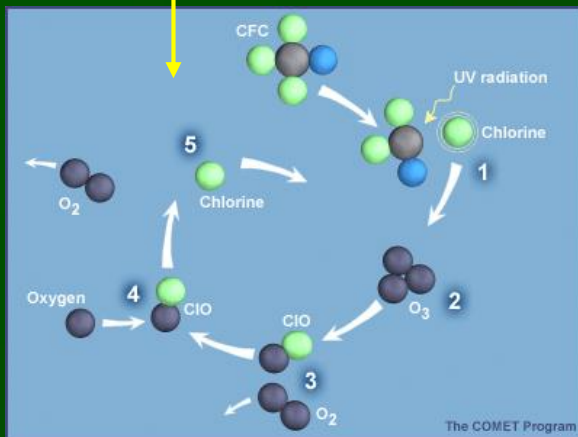


Il “buco dell’ozono”

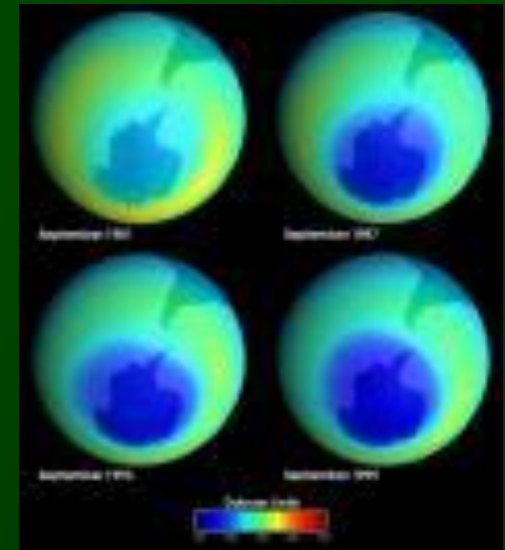
alcuni inquinanti (p.es. i
clorofluorocarburi CFC)...

reazione
dei CFC
con l'O₃

*l'ozono stratosferico ci
protegge dai raggi UVB*

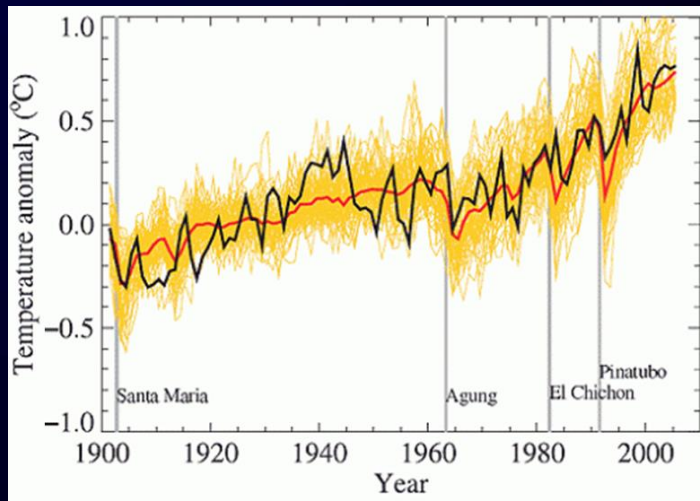


...distruggono
l'ozono della
stratosfera

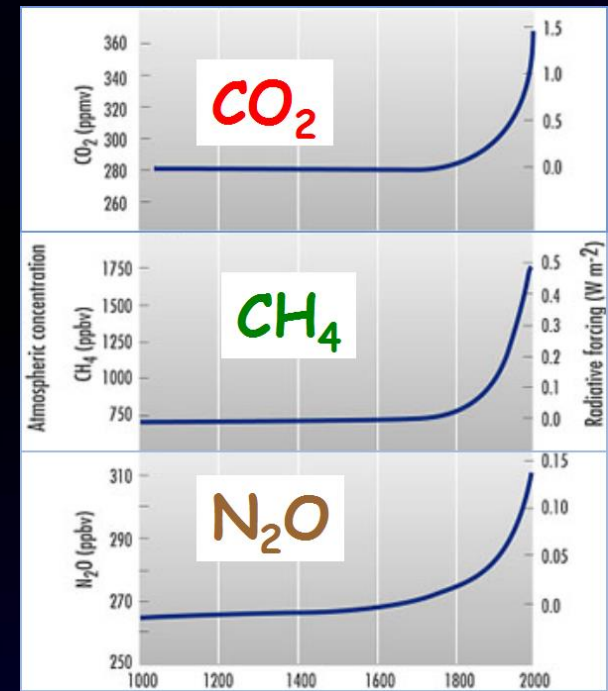


Il buco dell'ozono sull'Antartide

Effetto serra: riscaldamento globale della superficie terrestre



evoluzione della temperatura terrestre e della presenza di CO_2 , CH_4 e N_2O negli ultimi secoli

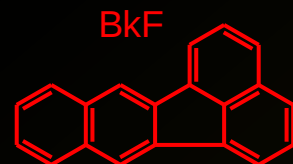
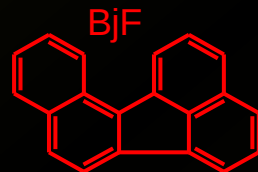
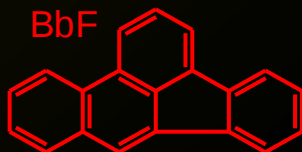


Il più importante gas serra è il vapore acqueo, seguito da anidride carbonica, ozono, metano, protossido d'azoto e clorofluorocarburi

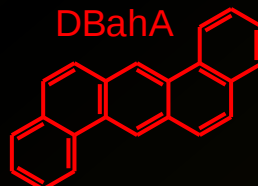
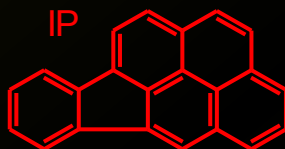
Il *black carbon* era riconosciuto come forzante negativo della temperatura terrestre; il brown carbon sembra avere un effetto contrario

IPA presenti nelle polveri atmosferiche

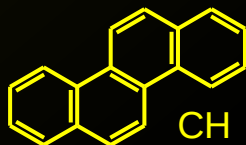
IPA cancerogeni



benzo(a)pirene



mutageni

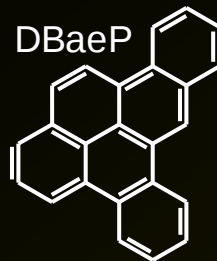
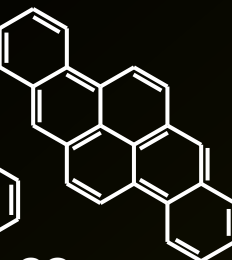
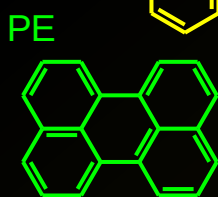
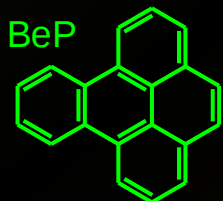


BPE

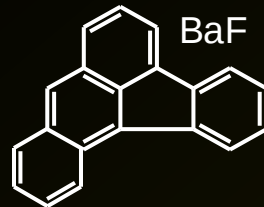
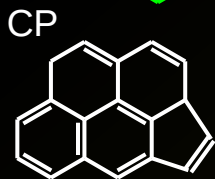
DBaH P

DBaE P

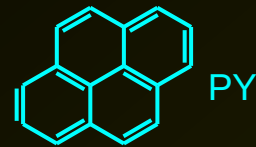
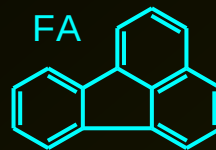
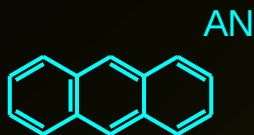
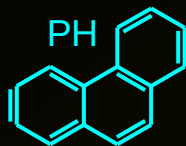
aggiuntivi



nuovi genotossici

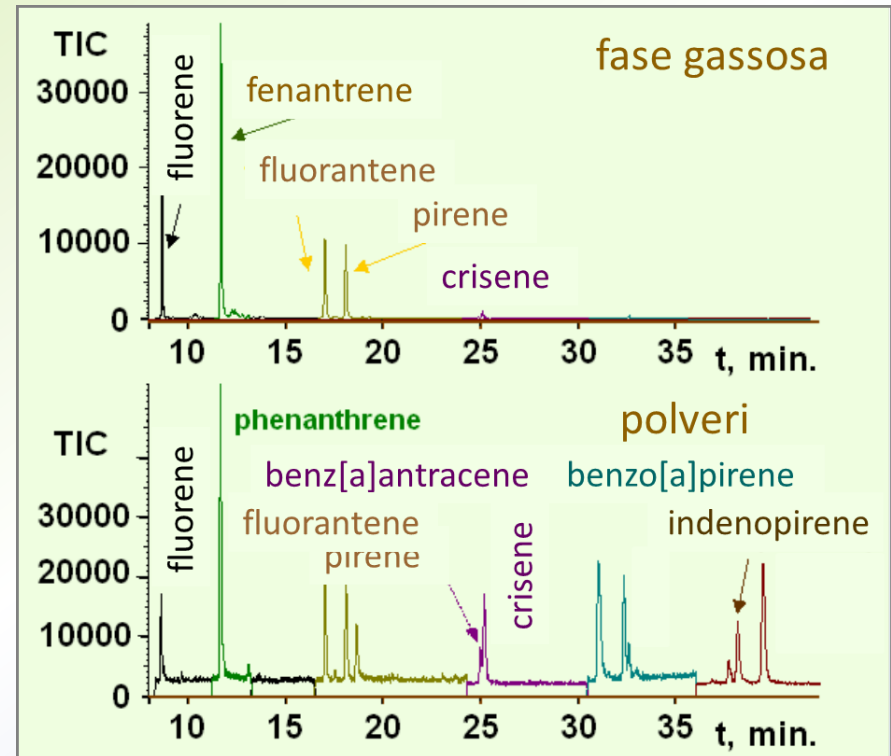
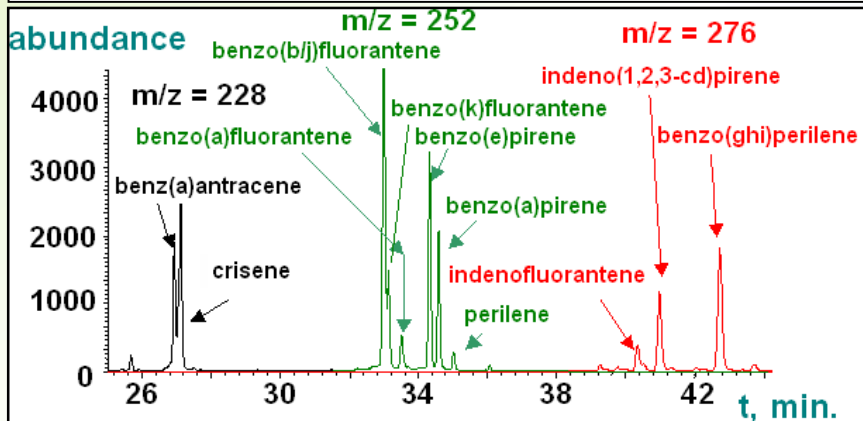
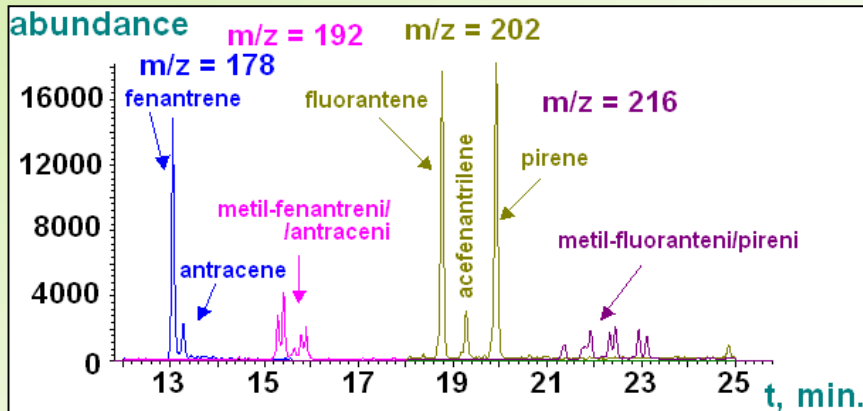


marker molecolari



IPA presenti in atmosfera

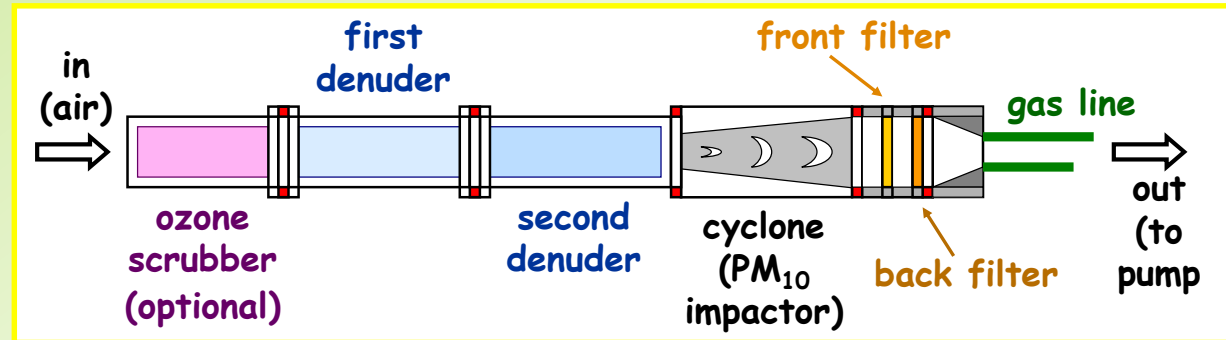
profili GC-MS di IPA gassosi
e particolati in atmosfera



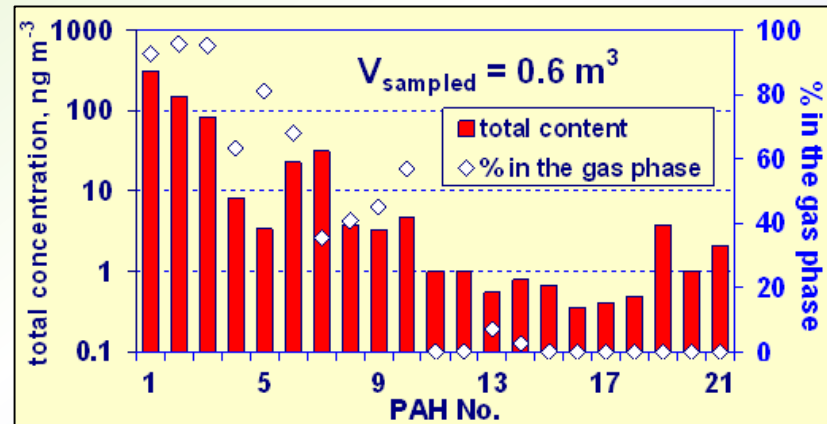
profili GC-MS di IPA nelle
polveri sospese

Inquinanti organici semi-volatili

treno
denuder-filtro



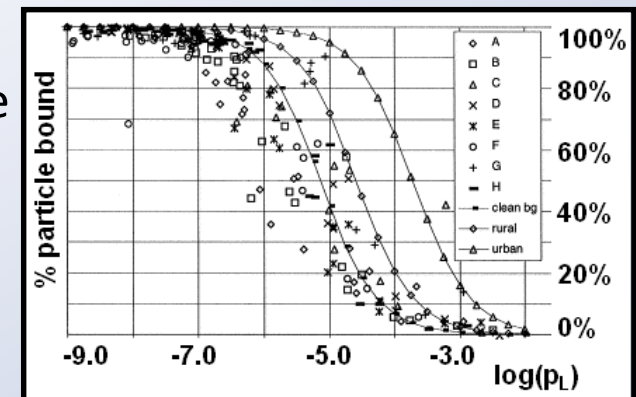
concentrazioni totali di IPA e
percentuali in fase gassosa



nitrofenoli: ripartizione tra fase
vapore ed aerosol atmosferico

composto	gas ng m ⁻³	particolato ng m ⁻³	% partic.
2-nitrofenolo	10.4	3.5	25
4-nitrofenolo	3.9	17.8	82
3-metil,4-nitrofenolo	2.2	7.8	78
4-metil,2-nitrofenolo	6.9	2.9	30
5-metil,2-nitrofenolo	4.8	1.7	26
2,6-dimetil,4-nitrofenolo	2.0	5.9	75

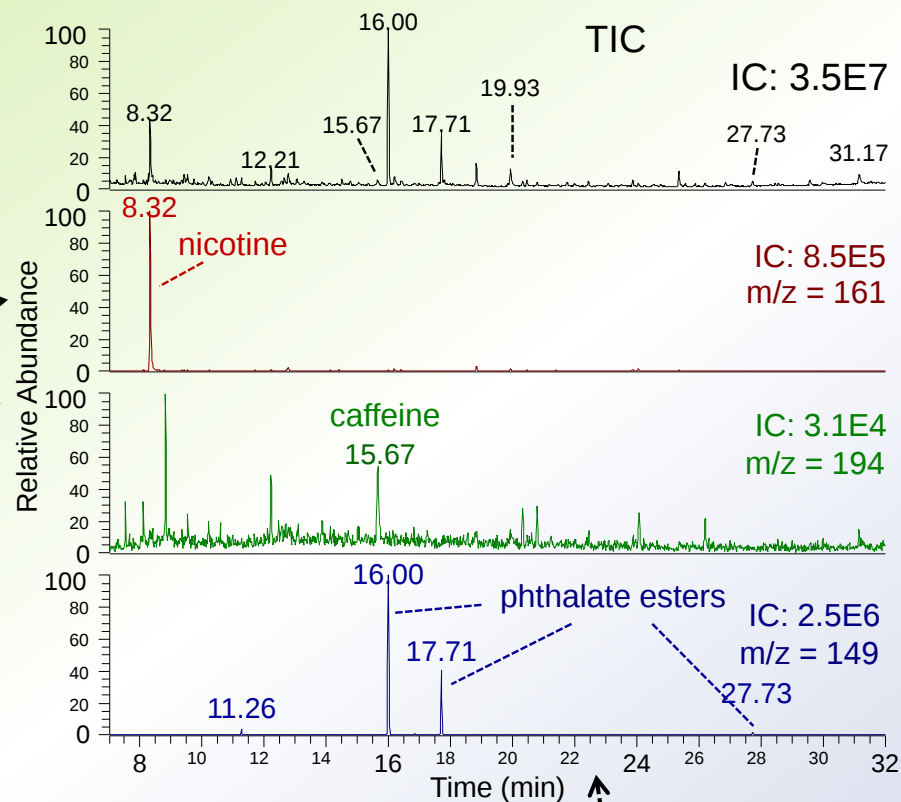
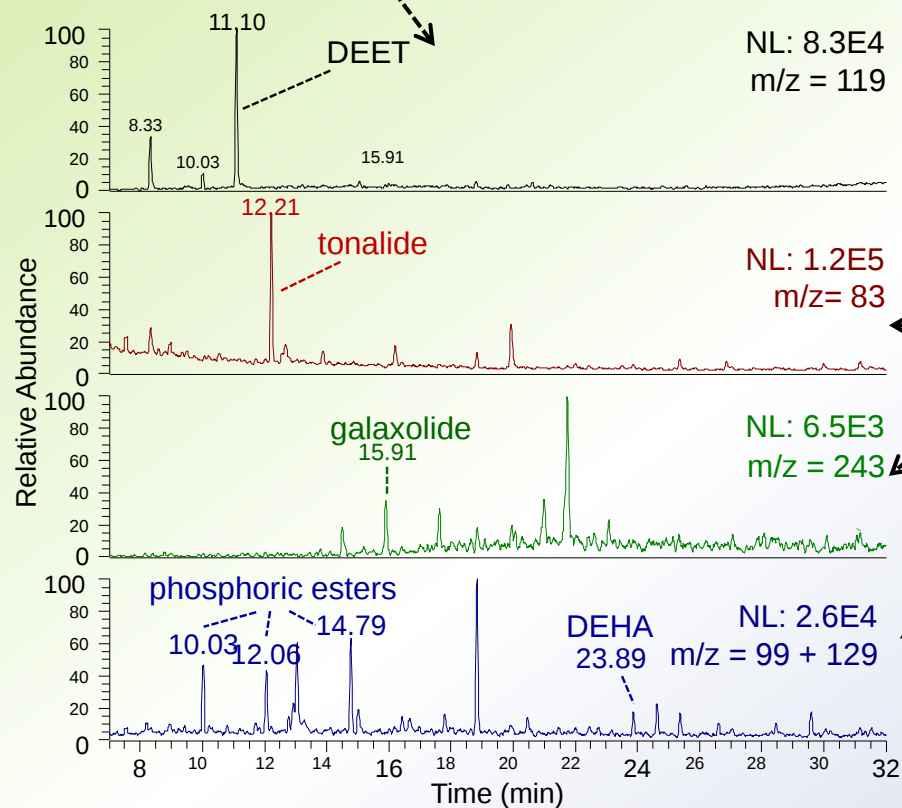
distribuzione
di PCDD tra
fase vapore
ed aerosol



Composti organici polari nel particolato sospeso

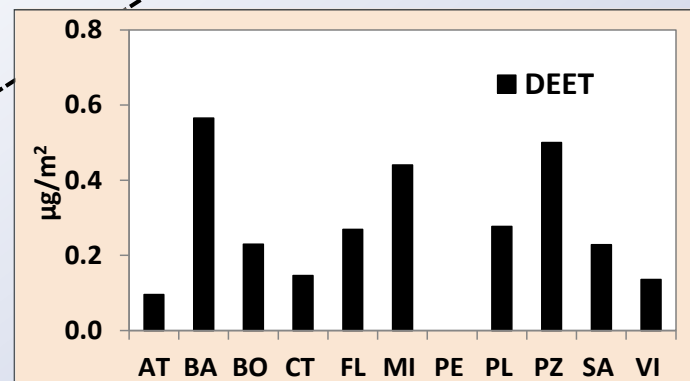
droghe

repellenti per insetti



fragranze

plasticizzanti, ignifughi



IPA, clorurati, sostanze psicotrope, nonilfenoli, ftalati

Algeria

ng/m ³	IPA	PCB	NIC	CAF	NoP	PAE
UNI	73	118	10.8	11.7	4.1	8410
HOS	64	22	134	18.9	0.9	6670
SCH	36	5.3	9.7	7.5	0.5	7330

Ritardanti di fiamma, esteri fosfonici, pesticidi

Europa

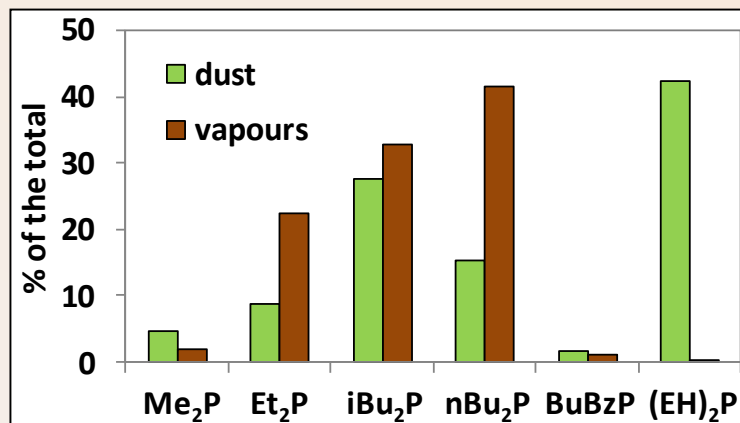
µg/g	Belgio	Spagna	Romania
PBDE	0.21±0.38	0.12	0.13±0.22
OPE	12.3±13.6	2.1	6.5±2.6
HBCD	0.73±0.71	0.06	0.11±0.07

Ftalati negli ambienti interni: uno studio condotto in Algeria



dust

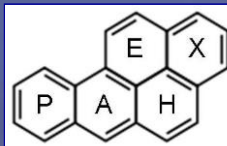
$\mu\text{g}/\text{m}^2$	Me_2P	Et_2P	iBu_2P	nBu_2P	BuBzP	$(\text{EH})_2\text{P}$	NoP
UNI	0.41	4.3	23	5.7	0.61	18.2	2.7
HOS	0.09	0.11	0.05	0.06	0.02	0.19	0.26
SCH	0.53	2.6	66	22	0.36	39	4.3
DWE	0.08	1.23	1.86	7.1	0.07	21	0.71



PM_{10}

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Me_2P	Et_2P	iBu_2P	nBu_2P	BuBzP	$(\text{EH})_2\text{P}$	NoP
UNI	0.18	1.35	1.71	4.05	0.09	0.01	1.25
HOS	0.05	2.00	1.09	1.82	0.04	0.01	0.69
SCH	0.14	0.50	2.94	1.82	0.09	0.02	0.37

Il Progetto *Life+EXPAH*



Population Exposure
to PAH



TARGET:

PM_{2.5}

BTEX

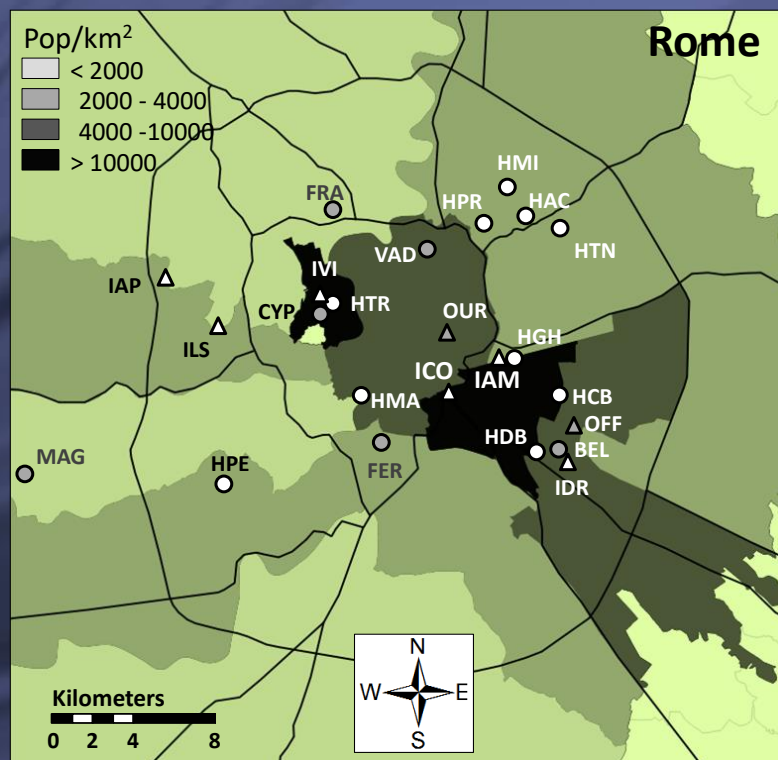
IPA

SITI:

6 scuole (I)

9 case (H)

2 uffici (O)



PROTOCOLLI:

misure indoor e outdoor

misure inverno e
primavera/estate

campionamenti
giornalieri

misure settimanali
o weekend/weekday

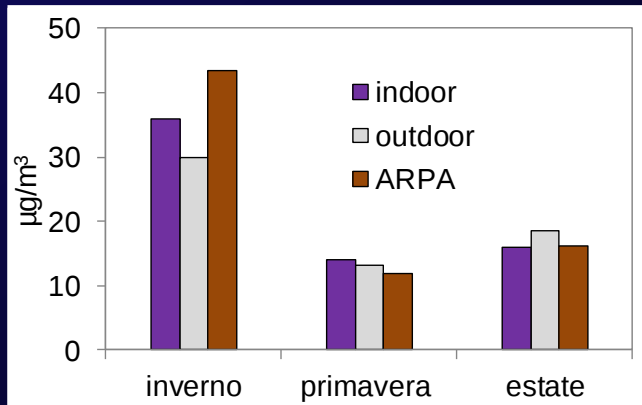
OBIETTIVI:

[concentrazioni] -----> *tossicità, esposizione, effetti, sorgenti*

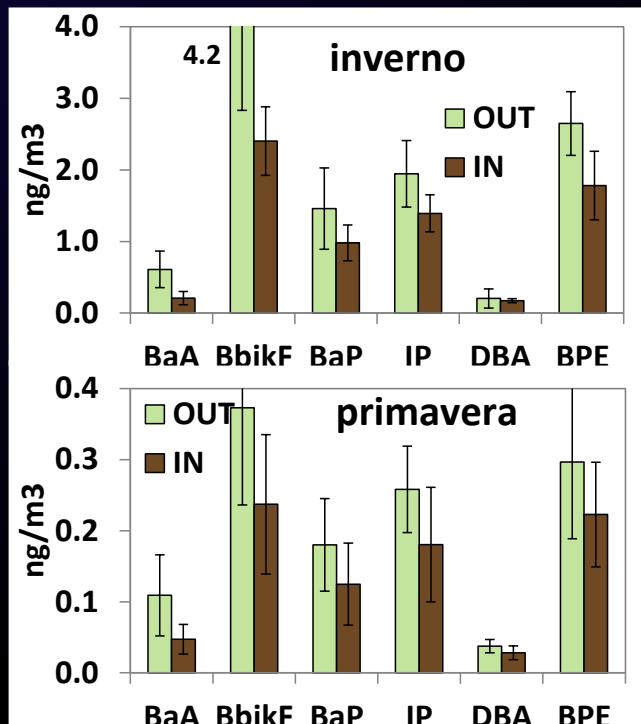
[in/out ratio] -----> *intrusione, sorgenti interne, persistenza*

Il Progetto *Life+EXPAH*

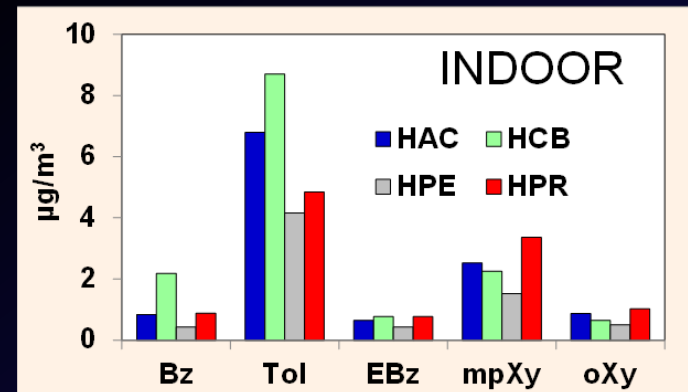
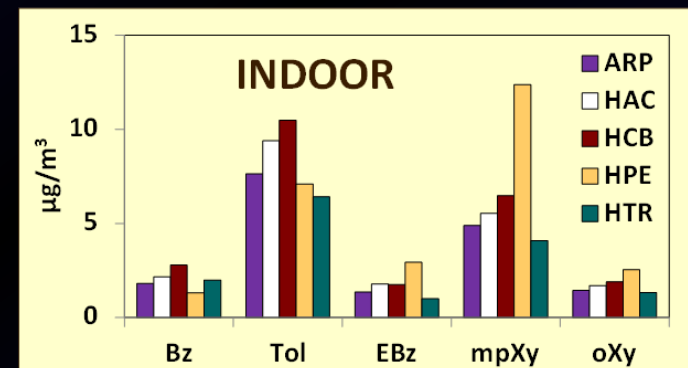
Concentrazioni d'inquinanti nelle abitazioni



$PM_{2.5}$



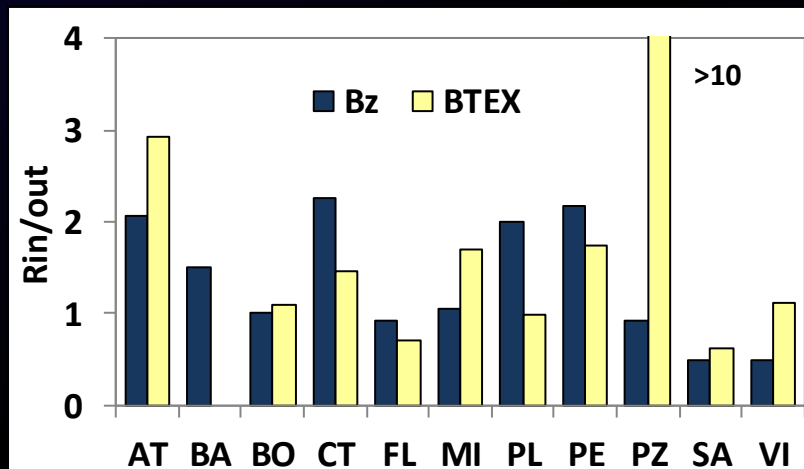
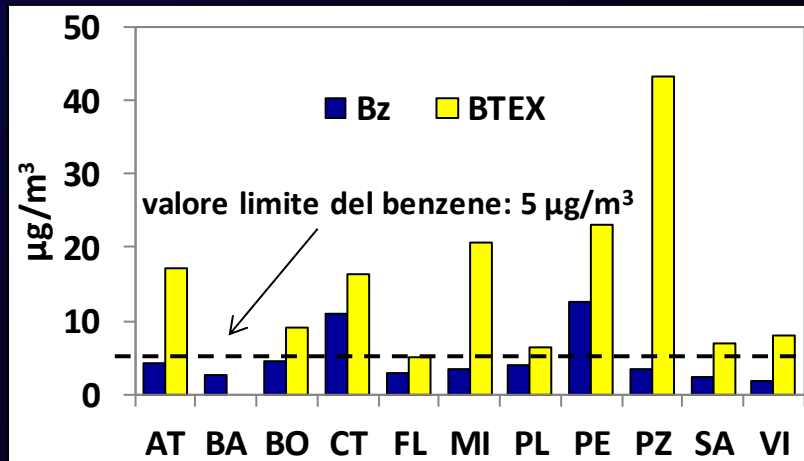
IPA



BTEX

Progetto *Treno Verde* 2017

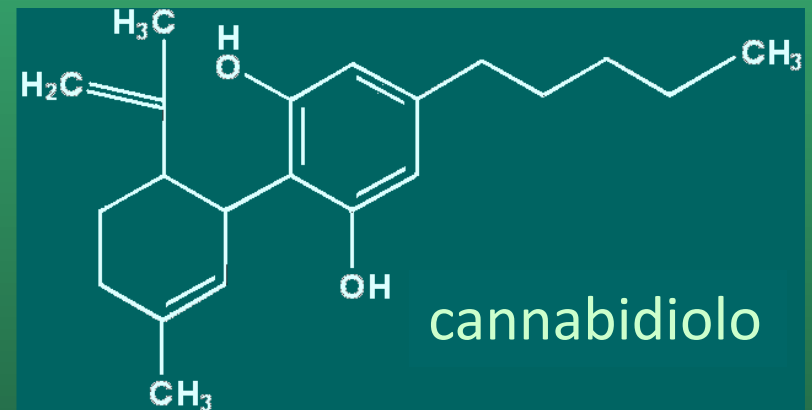
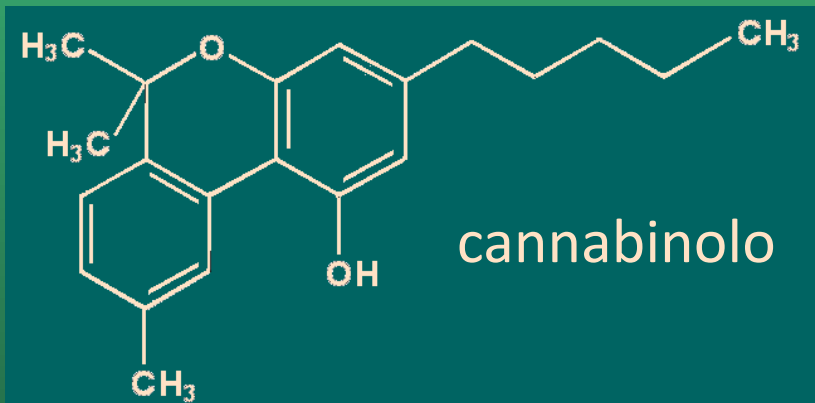
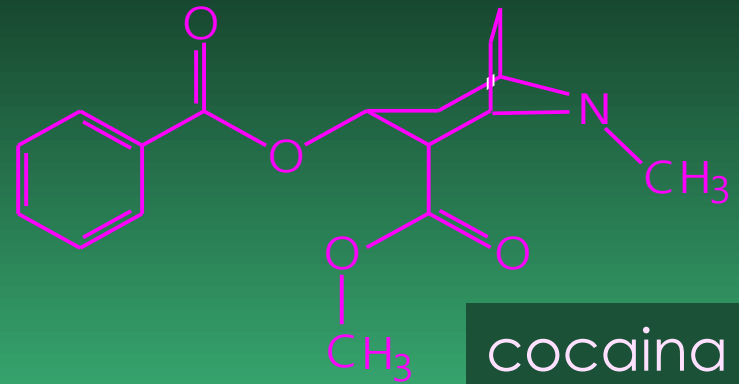
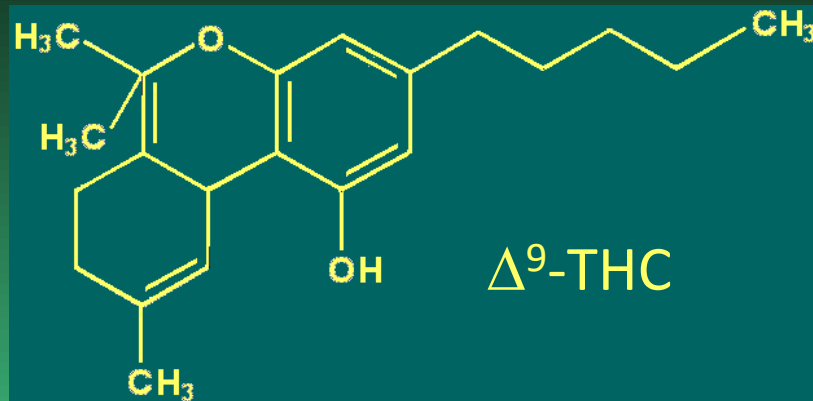
BTEX nell'aria delle scuole



concentrazioni

rapporti in/out

Sostanze psicotrope illecite in atmosfera



$$CBs = THC + CBD + CBL$$

5 ricerche italiane per le droghe atmosferiche

3 outdoor:

PSALM [2009-2011]

PSALM2 [2018-2019]



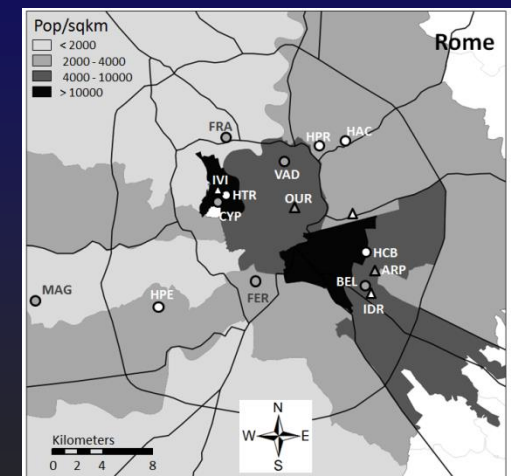
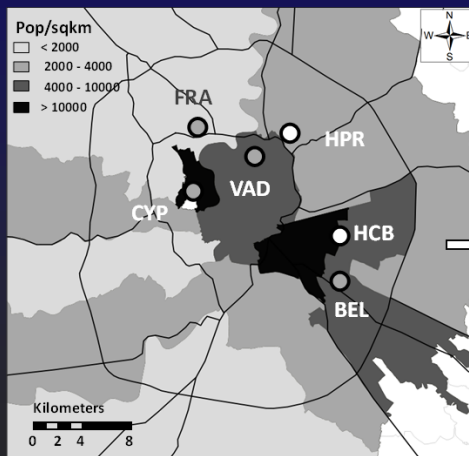
AriaDrugs [2010-2011]



2 indoor:

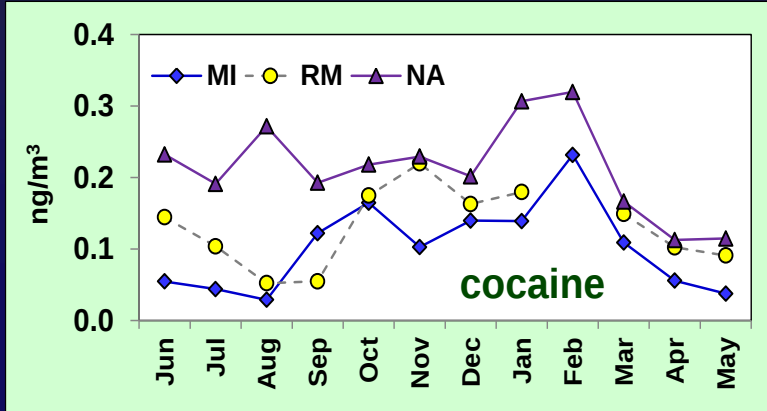
Marzo 2013 [2013]

INDOR [2011-2012]



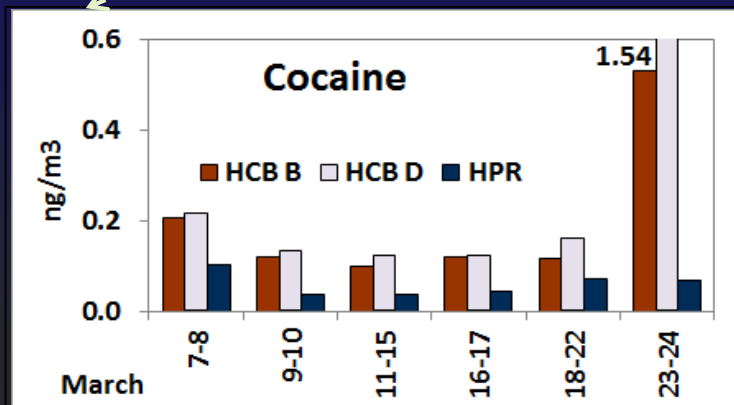
Droghe in aria ambiente

outdoor



year season	Winter		Summer	
pg/m ³	Cocaine	Cannabinoids	Cocaine	Cannabinoids
Northern Italy	116 ± 118	107 ± 88	40 ± 28	37 ± 22
Emilia Romagna	99 ± 39	82 ± 53	40 ± 13	41 ± 24
Central Italy (without Rome)	-----	----	12 ± 13	107 ± 108
Marche	20 ± 15	154 ± 95	9 ± 10	42 ± 42
South. Italy + Islands	24 ± 6	168 ± 170	19 ± 12	125 ± 126
Rome downtown	95 ± 38	537 ± 420	60 ± 19	78 ± 48
Rome province	35 ± 17	370 ± 213	20 ± 12	63 ± 28

indoor



rapporti in/out

	BAR	IGM
COC	4.2 ± 1.6	1.83 ± 0.46
CBs	143 ± 106	0.54 ± 0.38
PAHs	0.85 ± 0.42	0.80 ± 0.31
PM _{2.5}	1.56 ± 0.55	0.75 ± 0.19

Contaminazione ambientale da farmaci e sostanze per la cura personale

★ Inquinamento diffuso in tutti i comparti ambientali

★ Studi estesi disponibili solo per le matrici acquose (le acque di superficie, condotte di scarico) e gli alimenti (mangimi animali)

★ Numerose sostanze esaminate: sostanze d'ampio consumo (medicinali da banco), antibiotici

★ Sostanze native e prodotti di decomposizione o metaboliti

Sostanze esaminate nelle polveri (dust e aerosol)

additivi, conservanti, presidi

metilparaben (MePB)

etilparaben (EtPB)

propilparaben (PrPB)

nonilfenolo (mix; NoP)

bisfenolo-A (BPA)

tonalide (TON)

galaxolide (GLX)

dietiltoluammide (DEET)

farmaci

acido salicilico (SAC)

aspirina (ASP)

acetilcisteina (ACY)

acetamidofenolo (AAP)

ibuprofen (IBP)

acido *p*-idrossibenzoico (HBA)

naproxen (NPX)

fenoprofen (PPP)

ketoprofen (KPP)

diclofenac (DCP)

(fenofibrato) (FFB: assente)

SFIDA: Sostanze Farmaceutiche Indoor: Dust e Aerosol

Oggetto del nostro studio erano le sostanze farmaceutiche (SFs) e per la cura personale presenti nelle polveri di deposizione indoor.

Indagine effettuata in due tipi d'ambiente indoor potenzialmente contaminati da SFs: una farmacia ed un istituto ospedaliero.

Indagine preliminare di una ricerca da effettuarsi in strutture distribuite su tutto il territorio nazionale

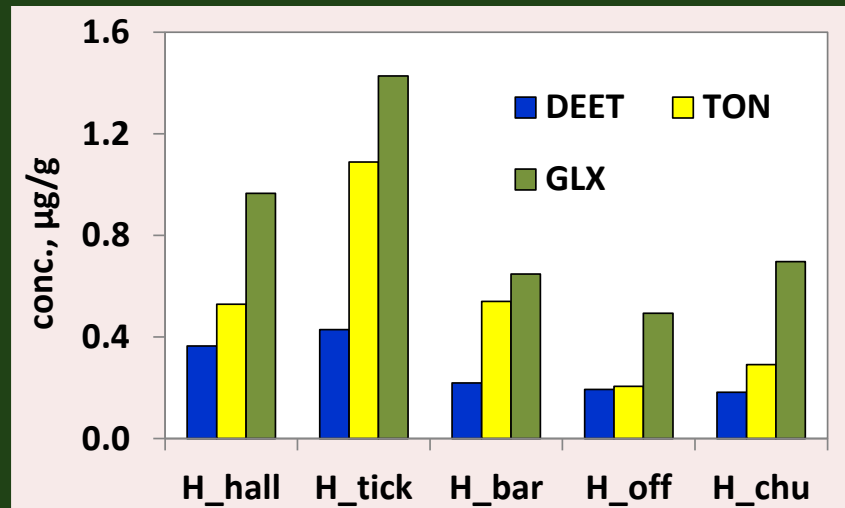
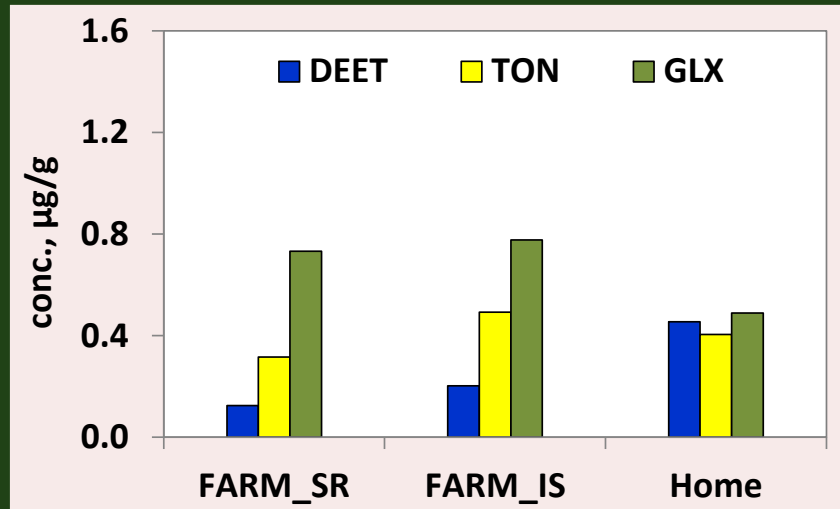
Protocolli di monitoraggio

- ★ Periodo: inverno 2016
- ★ Area di raccolta: 0.20 – 0.40 m² di una superficie piana a 1.5-2.0 m d'altezza
- ★ Modalità: asportazione meccanica con filtri di lana di vetro ultrapuro
- ★ Conservazione: avvolgimento con fogli d'alluminio stoccaggio a 4°C

Prodotti per la cura personale

DEET (Autan), galaxolide, tonalide

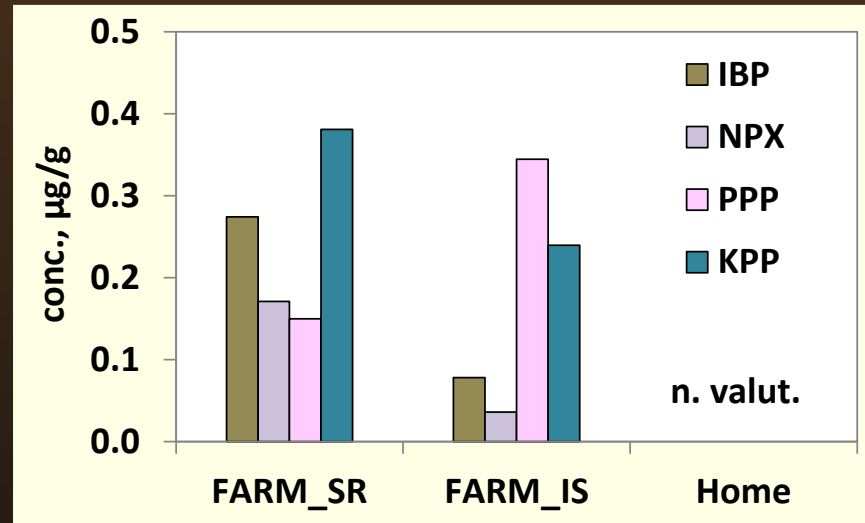
farmacia,
casa



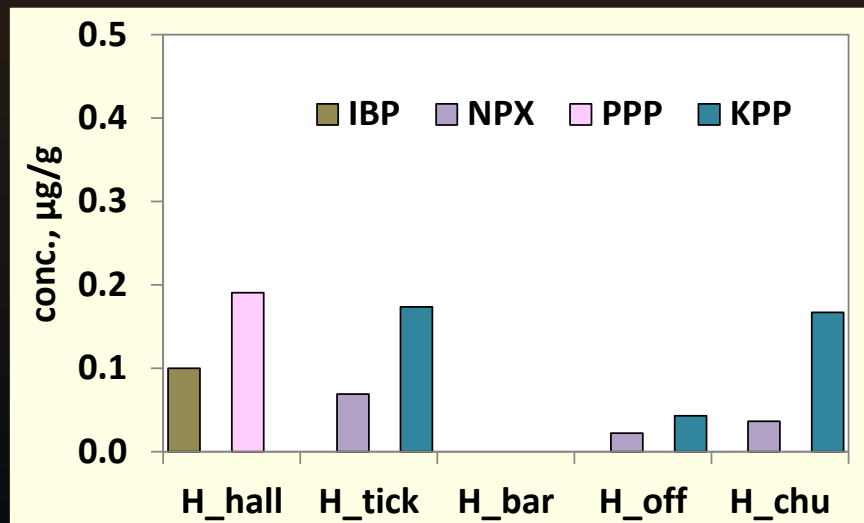
istituto
ospedaliero

Farmaci: ibuprofen, naproxen, fenoprefen, ketoprofen

farmacia, casa

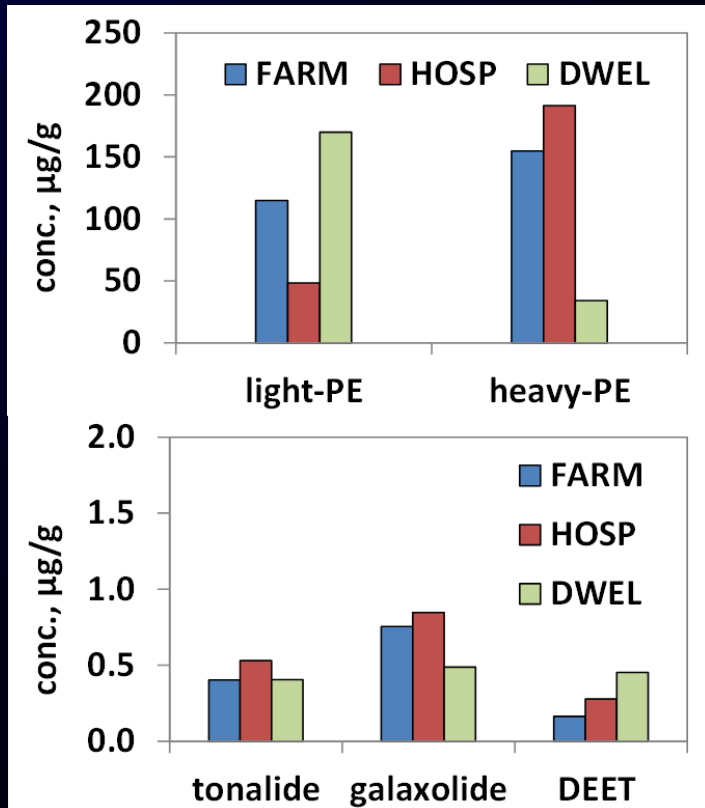


istituto
ospedaliero



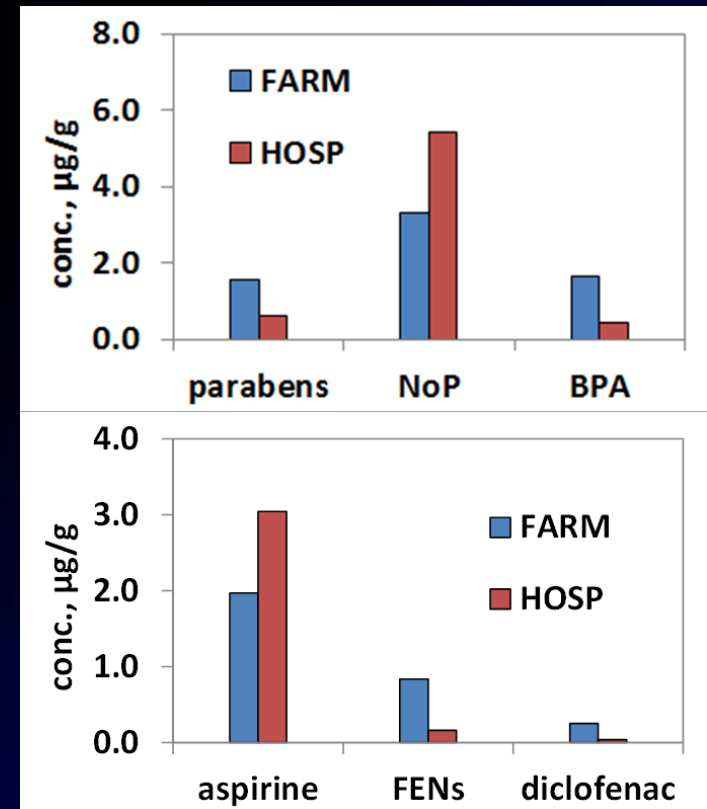
SFIDA: concentrazioni medie nelle polveri ($\mu\text{g/g}$)

ftalati leggeri e pesanti



fragranze

additivi, presidi



farmaci

Strategia di misura dell'inquinamento

✱ misure ad alta frequenza e limitata discriminazione territoriale

▲ campionatori attivi

▲ analisi chimica di laboratorio/stumentale

▲ sensori/indicatori

✱ misure a bassa frequenza e elevata discriminazione territoriale

▲ monitor automatici

▲ campionatori passivi

▲ sensori/indicatori

Conclusioni

- ▶ L'inquinamento dell'aria oggi è molto diverso da quello del passato, quantitativamente e chimicamente
- ▶ Contemporaneamente, è cresciuta molto la sensibilità ambientale dei cittadini
- ▶ Col cambiare della chimica, mutano anche gli effetti individuali e socio-sanitari dell'inquinamento dell'aria e i modi per affrontarli
- ▶ Dalle misurazioni (sia pure con mezzi sempre più potenti) si passa alle simulazioni modellistiche, descrittive e di scenari
- ▶ Le misure restano insostituibili, ma devono essere tecnicamente ed economicamente compatibili e adatte agli obiettivi.

Conclusioni

- ▶ Alle tecnologie tradizionali si sostituiscono dispositivi sempre più rapidi, sensibili e sicuri.
- ▶ La quantità di dati è importante ai fini dei trattamenti statistici ma la qualità (affidabilità) e omogeneità delle misure resta un discriminante
- ▶ Per i monitoraggi ambientali, metodi standard (per misure accurate e affidabili) sono utilmente affiancati da strumenti di *screening*
- ▶ Un ruolo importante svolgono gli indicatori e i sensori
- ▶ L'approccio integrato (non solo strumentale ma anche disciplinare) si dimostra sempre più necessario per le ricerche e le valutazioni ambientali, nonché per la gestione dell'ambiente e delle risorse

Grazie per l'attenzione!

per contatti:

balducci@iia.cnr.it

angelo.cecinato@iia.cnr.it