

Valutazione del rischio chimico

CdL Magistrale Interateneo in
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio
Università di Udine e Università di Trieste

CdL Magistrale in Chimica
Università di Trieste

Docente
Pierluigi Barbieri

SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12

Valutazione del rischio chimico

Processo chimico



(Dispersione
Trasferimenti di fase
trasformazioni ambientali)

Esposizione / PEC

**Valutazione
del rischio**

Valutazione degli **effetti** dell'esposizione
a sostanze singole e a miscele /
NOAEC /tossicologia

The EEA 'Typology of indicators' and the **DPSIR framework** (Driving forces, Pressure, State, Impact, Response) used by the European Environment Agency in its reporting activities.
<http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>

Figure 1: The DPSIR Framework for Reporting on Environmental Issues

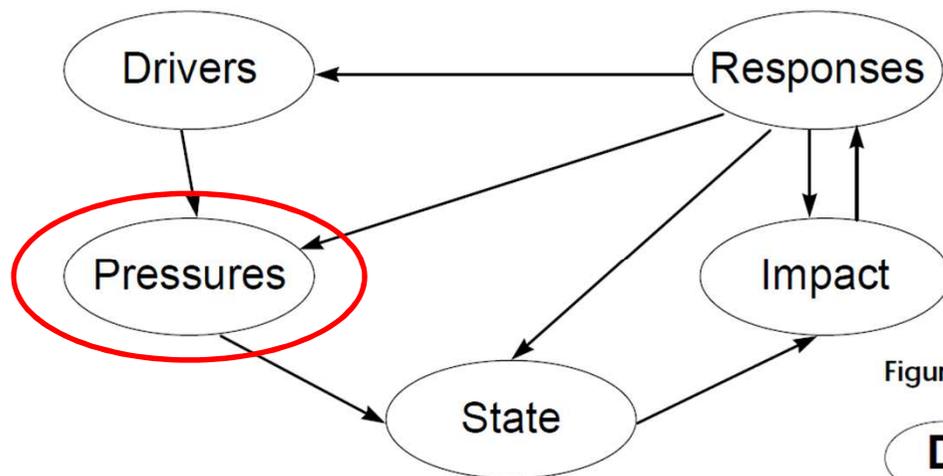
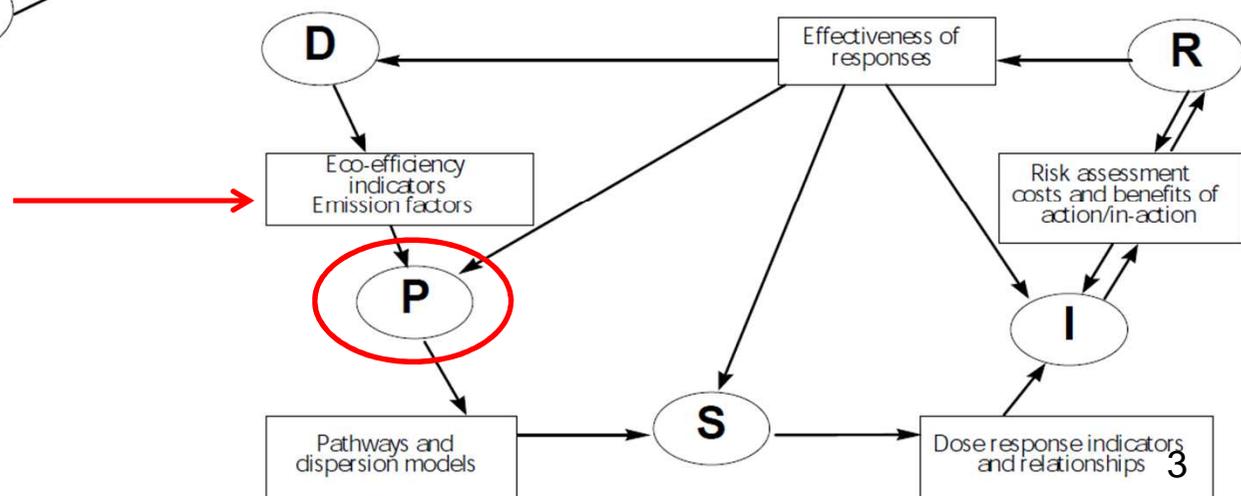


Figure 2: Indicators and information linking DPSIR elements



<https://www.gdrc.org/sustdev/concepts.html>

QUANTITA'

Il primo fattore è la **quantità prodotta, utilizzata, formata o trasportata**, compresa la frazione di sostanza chimica che può essere scaricata nell'ambiente durante l'uso.

Alcuni prodotti chimici, come il benzene, sono **usati in quantità molto grandi** di combustibili, **ma solo una piccola frazione** (possibilmente meno di una frazione di un per cento) **viene emessa nell'ambiente** attraverso combustione incompleta o perdite durante la conservazione. **Altre sostanze chimiche**, come pesticidi, sono **usate in quantità molto minori ma sono scaricate completamente e direttamente nell'ambiente**, cioè 100% viene emesso.

All'altro estremo, ci sono **intermedi chimici** che possono essere **prodotti in grandi quantità, ma sono emessi solo in quantità minuscole** (a meno che non si verifichi un incidente industriale).

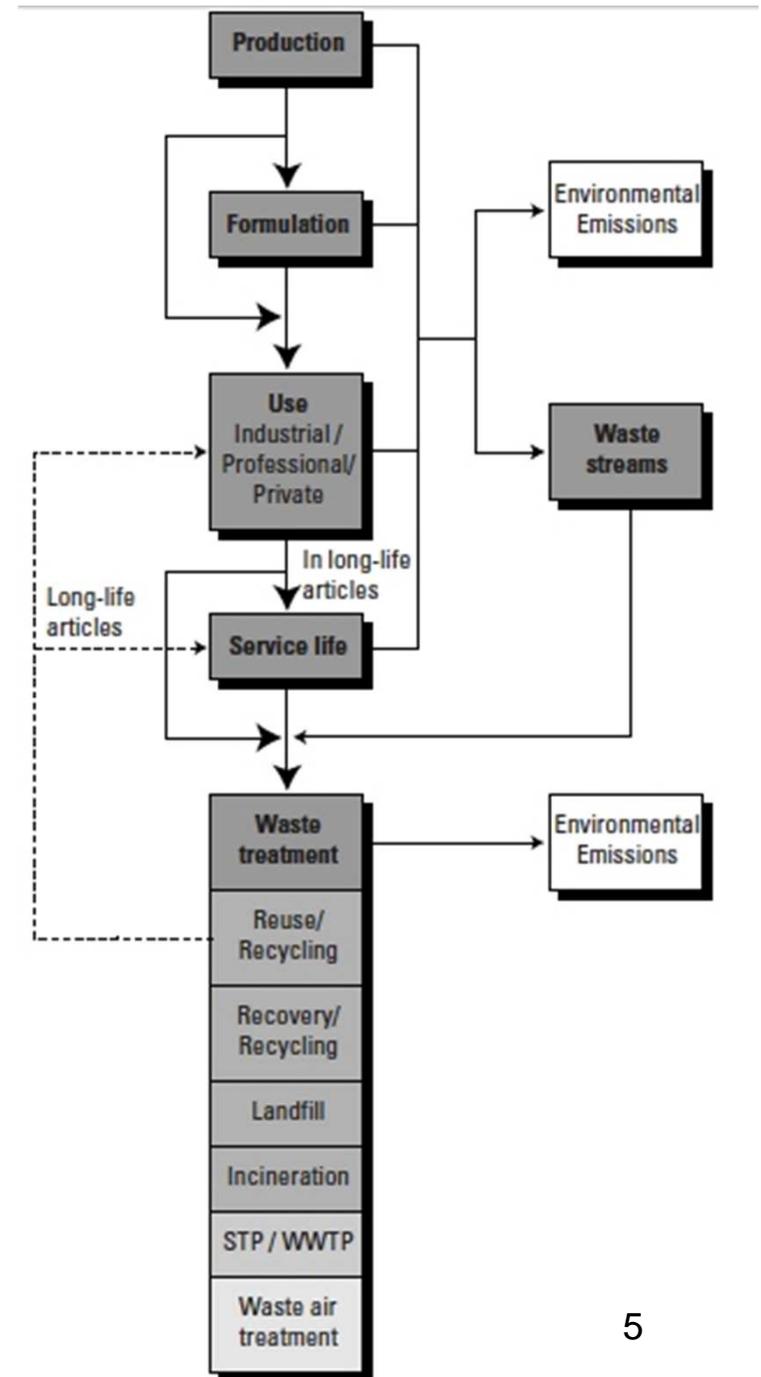
E 'difficile confrontare i quantitativi emessi da queste diverse categorie, perché sono molto variabili e episodici. E 'essenziale, però, di prendere in considerazione questo fattore, **molte sostanze chimiche tossiche non hanno impatti negativi rilevabili, entrando nell'ambiente in quantità molto basse.**

Centrale per l'importanza della quantità è l'adagio ha dichiarato anzitutto da Paracelso, quasi cinque secoli fa, che è la **dose a fare il veleno**. Questo può essere rideterminato nella forma che **tutte le sostanze chimiche sono tossiche se somministrato alla "vittima" in quantità sufficienti.**

Un corollario è che, **in dosi sufficientemente piccole, tutte sostanze chimiche sono sicure.**

Ingresso nell'ambiente

- Il focus è sugli xenobiotici e sostanze naturali prodotte o rilasciate a causa di attività umane. Con sostanze prodotte intenzionalmente - e loro sottoprodotti - le emissioni possono avvenire in qualsiasi fase del **ciclo di vita** della sostanza. La vita di ogni sostanza inizia con la fase di produzione o di formazione.
- Una distinzione può essere fatta tra sostanze prodotte come materia prima per la sintesi di altre sostanze (**intermedi**) e tutte le altre sostanze.
- Il ciclo di vita inizia dall'industria chimica o petrolchimica o dall'estrazione e dalla raffinazione di minerali.



potenziali emissioni e:

- **Formulazione:** Sostanze miscelate per ottenere dei preparati (es: pitture; anche due stadi: sostanza formulata per ottenere un pigmento, che viene poi aggiunta ad una vernice)
- **Uso:** la sostanza (come tale o in un preparato/formulato) è usata o applicata per un certo scopo. Si può avere un uso privato, professionale o industriale; L'uso privato ha maggior diffusione spaziale e le modalità/efficacia di riduzione delle emissioni son diverse.
- La vita di servizio di un articolo che contiene la sostanza può esser lunga e i rilasci possono avvenire in maniera diffusa anche per deterioramento dei manufatti

potenziali emissioni e:

- **Trattamento dei rifiuti** (fine vita): rifiuti (wastes) liquidi, solidi o gassosi.

Impianti di trattamento delle acque di scarico (WWTP, STP), che raccolgono emissioni da abitazioni civili, attività professionali ed industriali: sorgente puntuale per l'ambiente acquatico

ANCHE TRIESTE E CERVIGNANO SONO FRA LE CITTÀ BOCCIAE DALL'EUROPA IN TEMA DI ACQUE E DEPURAZIONE

DICEMBRE 28, 2012, 5:34 PM ADMIN1



Like 0 Tweet g+1 in Share

[Download this page in PDF format](#)

Ci sono anche zone del Fvg fra le oltre 100 le aree del nostro Paese bocciate dall'Europa per via di una procedura di infrazione sulla depurazione, aperta dal 2009, sugli agglomerati superiori ai 15.000 abitanti, che scaricano in aree 'normali. Il 19 luglio di quest'anno la Corte di Giustizia Ue ha infatti condannato l'Italia. La sanzione rischia di essere pesante, se non ci si adegua al più presto: la penalità di mora potrà andare da un minimo di circa 12.000 euro a un massimo di 715.000 euro per ogni giorno di ritardo nell'adeguamento; oltre a una somma forfettaria calcolata sulla base del Pil, e alla possibile sospensione di finanziamenti europei, fino all'attuazione della sentenza.

Emerging contaminants Es. farmaci nelle acque

Tabella 4.9: Efficacia di rimozione delle diverse tipologie di trattamento.

	Composti farmaceutici acidi				Estrogeni			Antibiotici		Farmaci neutri		Mezzi di contrasto iodati		
	Ibu	Dicl	Bez	Clof	E1	E2	EE2	SMX	Rox	Carb	Diaz	Iopr	Diatr	Iopam
Trattamento di acque reflue														
Trattamento primario	--	--	--	--	+	+	+	--	--	--	--	--	--	--
Nitrificazione	+++	+	+++	--	+++	+++	+++	+++	+	--	--	++	--	--
Fanghi attivi	+++	+	+++	--	+++	+++	+++	++	++	--	--	++	--	--
Membrane bioreattori	+++	+	+++	--	+++	+++	+++	nd	++	--	nd	++	--	--
Biofiltri	nd	+	nd	--	+++	+++	++	nd	+	--	nd	++	--	--
Ozonazione per scarichi	+ / +++	+++	++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	--	+
Trattamento per la potabilizzazione														
Bank filtration	+++	+++	++	(--)	+++	+++	+++	++	+++	--		++	--	--
Flocculazione	--	--	--	--	nd	nd	nd	--	--	--	--	--	--	--
Ozonazione	+	+++	++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	--	+
AOPs	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++
GAC	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	+	++
Ultrafiltrazione/PAC	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	(+)	(++)
Nanofiltrazione	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	(+++)	(+++)
Clorazione	--	++	--	--	(++)	(++)	(++)	(+++)	(++)	--	--	(--)	(--)	(--)
ClO ₂	--	+++	--	--	+++	+++	+++	+++	++	--	--	--	--	--

Legenda: Ibu: Ibuprofene; Dicl: Diclofenac; Bez: Bezafibrato; Clof: acido clofibrico; E1: estrone; E2: 17β-Estradiolo; EE2: 17α-Etinilestradiolo; SMX: Sulfametoxazolo; Rox: Roxitromicina; Carb: Carbamazepina; Diaz: Diazepam; Iopr: Iopromide; Diatr: Diatrizoato; Iopam: Iopamidolo.

-- : < 10%; + : da 10 a 50%; ++ : da 50 a 90 %; +++ : > 90%; nd: nessun dato. I valori fra parentesi sono predetti

Per quel che riguarda le emissioni industriali

<http://prtr.ec.europa.eu/>

(Una volta <http://www.eper.ec.europa.eu>)

The screenshot displays the E-PRTR Area Overview interface. The main page shows a map of the Trieste region with a facility highlighted. A popup window provides details for 'LUCCHINI S.P.A. - Stabilimento di Trieste', including its postal code (34145), address (VIA DI SERVOLA 1), city (TRIESTE), and sector (2 Production and processing of metals). Below the map, a table lists pollutant releases for the year 2010. The table is divided into two sections: 'Releases to air' and 'Releases to water'.

Country: All Reporting States for E-PRTR
Year: 2010
Region: All regions

Pollutant	Quantity	Accidental	Accidental %	Method	Method used	Confidentiality
Releases to air						
Carbon dioxide (CO2)	286,000 t	0	0 %	Calculated	PER PER Bilancio semplificato di massa	
Nitrogen oxides (NOx/NO2)	465 t	0	0 %	Measured	PER PER D.M. 25/08/2000 All. I	
PCDD + PCDF (dioxins + furans) (as Teq)	0.180 g	0	0 %	Measured	PER PER UNI EN 1948 parte 1,2,3	
Particulate matter (PM10)	84.1 t	0	0 %	Measured	UNI EN 13284-1 del 2003	
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)	79.5 kg	0	0 %	Measured	PER PER DM 25/08/2000 All. III	
Releases to water						
Copper and compounds (as Cu)	121 kg	0	0 %	Measured	PER PER APAT-CNR IRSA 3020 Manuale 29/2003	
Cyanides (as total CN)	3.88 t	0	0 %	Measured	PER PER APAT-CNR IRSA 4070 Manuale 29/2003	

Contents:
 Pollutant Releases
 Pollutant Transfers
 Waste Transfers
 Confidentiality

Emissione = risultato di attività umana che genera il rilascio di sostanze dalla tecnosfera all'ambiente;
correlata a come risorse vengono gestite

Tipi e sorgenti di emissioni

In dipendenza dalle finalità della VR
 Attenzione a concentrazioni di picco
 per valutare effetti acuti, o
 a emissioni totali che
 danno concentrazioni medie
 (conc. di background)

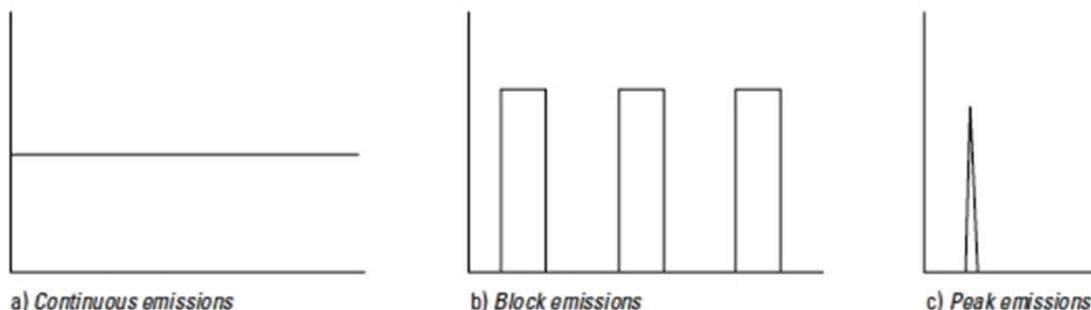


Figure 2.5. Types of emission.

Type	Definition and example
Continuous emission	emissions with an almost constant emission flow rate over a prolonged period. <i>Example:</i> the emission of a substance from a continuous production process such as an oil refinery.
Block emissions	emissions with a flow rate which is reasonably constant over certain time periods with regular intervals with a low or even zero background emission. <i>Example:</i> the emissions from traffic; emissions are high during rush hours and low at night.
Peak emissions	emissions where a relatively large amount is discharged in a short time; the time intervals between peaks and the peak height can vary greatly. <i>Example:</i> the discharge of spent liquid (reaction mixture) after isolation of a synthesized substance in a batch process, or a discharge after a process failure.
Point sources	sources, either single or multiple, which can be quantified by means of location and the amount of substance emitted per source and emission unit (e.g. amount per time unit). <i>Example:</i> a chemical plant or a power plant (usually a factory with several plants is considered a single point source).
Diffuse sources	large numbers of small point sources of the same type. <i>Example:</i> emission of solvents from painted objects (maintenance of buildings, boats, vehicle, fences, etc.).

s. Puntuali
 s. Mobili

Emissioni in relazione alla valutazione del rischio

Emissioni

Son cosa diversa dal **Carico** (*load*) in un comparto ambientale in cui si manifesta il rischio

Il carico nell'aria, acqua o suolo è dovuto non solo alle emissioni, ma anche a processi di trasporto e distribuzione nell'ambiente

Emissioni **in aria** posson avvenir per vie diverse

Evaporazioni (anche da STP), spolvero durante trasferimenti di materiale, rilascio dai camini

Sostanze raggiungono il **suolo** con deposizioni Secche o umide dall'aria (risultato indiretto da emissioni in aria). Rilasci diretti associati a perdite da siti industriali o serbatoi interrati, o ad applicazioni di pesticidi/biocidi, fertilizzanti su suoli agricoli. Modo indiretto attraverso acque reflue impiegate com¹² fertilizzanti

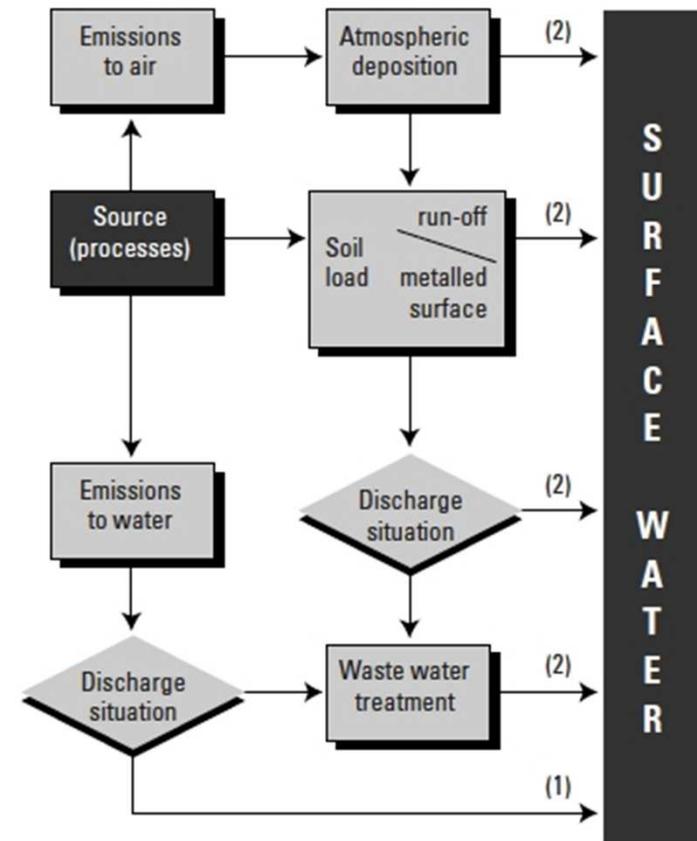


Figure 2.6. Direct (1) and indirect (2) emissions to surface water from processes.

*La rilevanza delle **sorgenti emissive** è correlata a scala di indagine ed posizione di recettore.*

Nel paragone tra concentrazioni di esposizione e di effetti, in molti casi bisogna Definire “**luogo**”(dove?) e “**periodo**” (quando?)

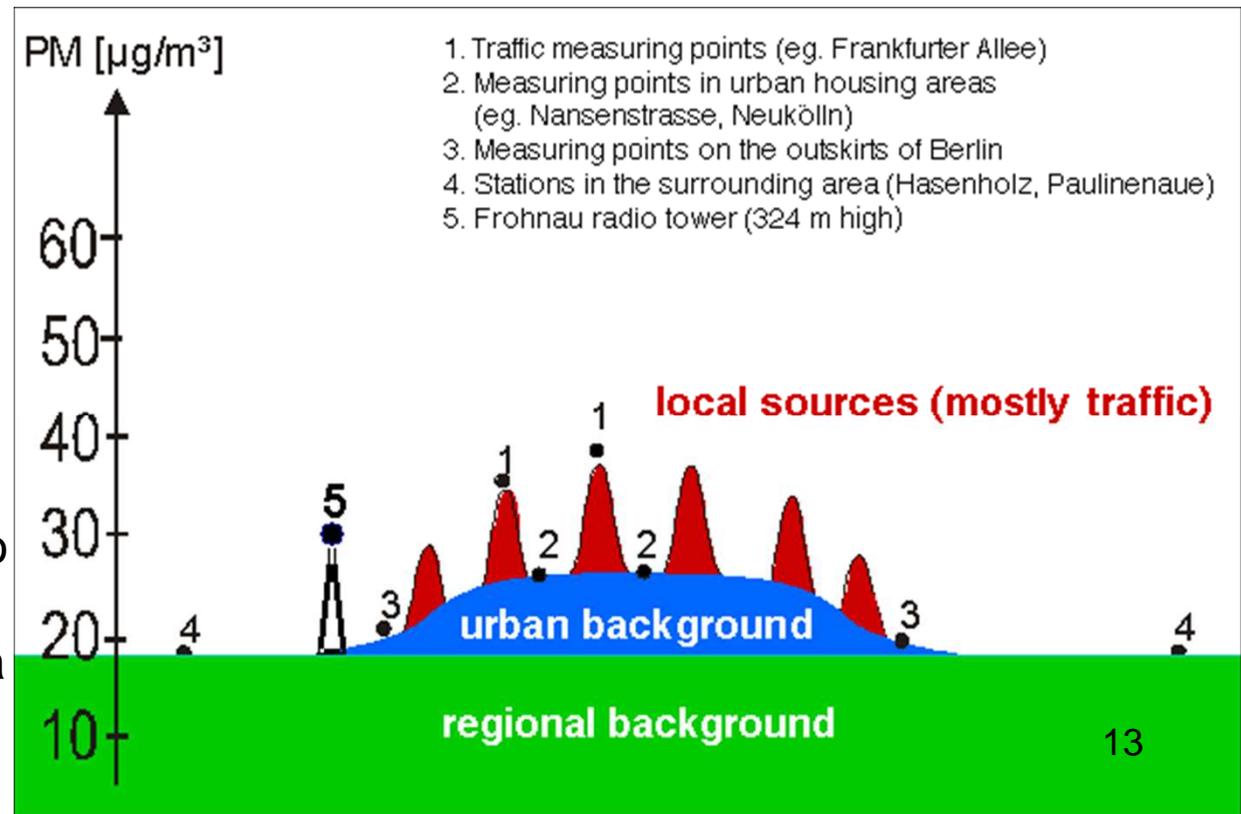
Es. acque superficiali vs acque profonde (*groundwaters*)

Suoli agricoli, industriali, altri (urbani / rurali)

Aria outdoor usualmente facilmente rinnovata ma possono verificarsi anomalie locali (es. street canyons) anche in dipendenza di momenti della giornata o stagioni (rischi maggiori)

Il problema della corretta
**Definizione della scala
Spaziale e temporale**
nella valutazione del rischio

Es. studio benzene Servola

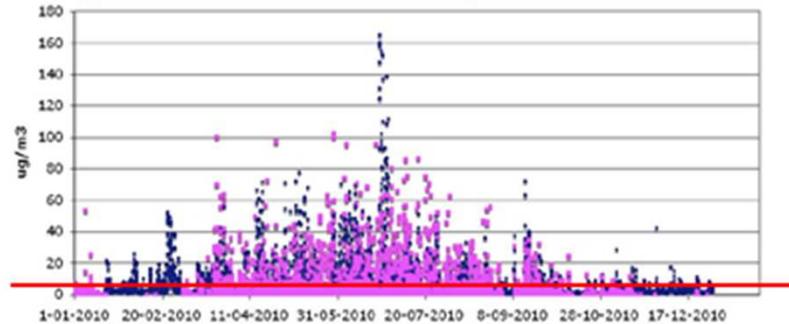


Es. di variabilità temporale e spaziale di concentrazioni ambientali (misurate)

Sono stati rilevati **episodi di significativa contaminazione dell'aria** (2010 benzene, 2012 ammoniaca) **a seguito di segnalazioni della popolazione**

BENZENE
VALORE DI RIFERIMENTO:
MEDIA ANNUA 5 ug/m³

Concentrazioni orarie di benzene in prossimità di un impianto industriale



MEDIA MASSIMA PER BENZENE
(campionatori passivi esposti per 5 giorni/settimana, in 4 settimane di campionamento successive, 2012)

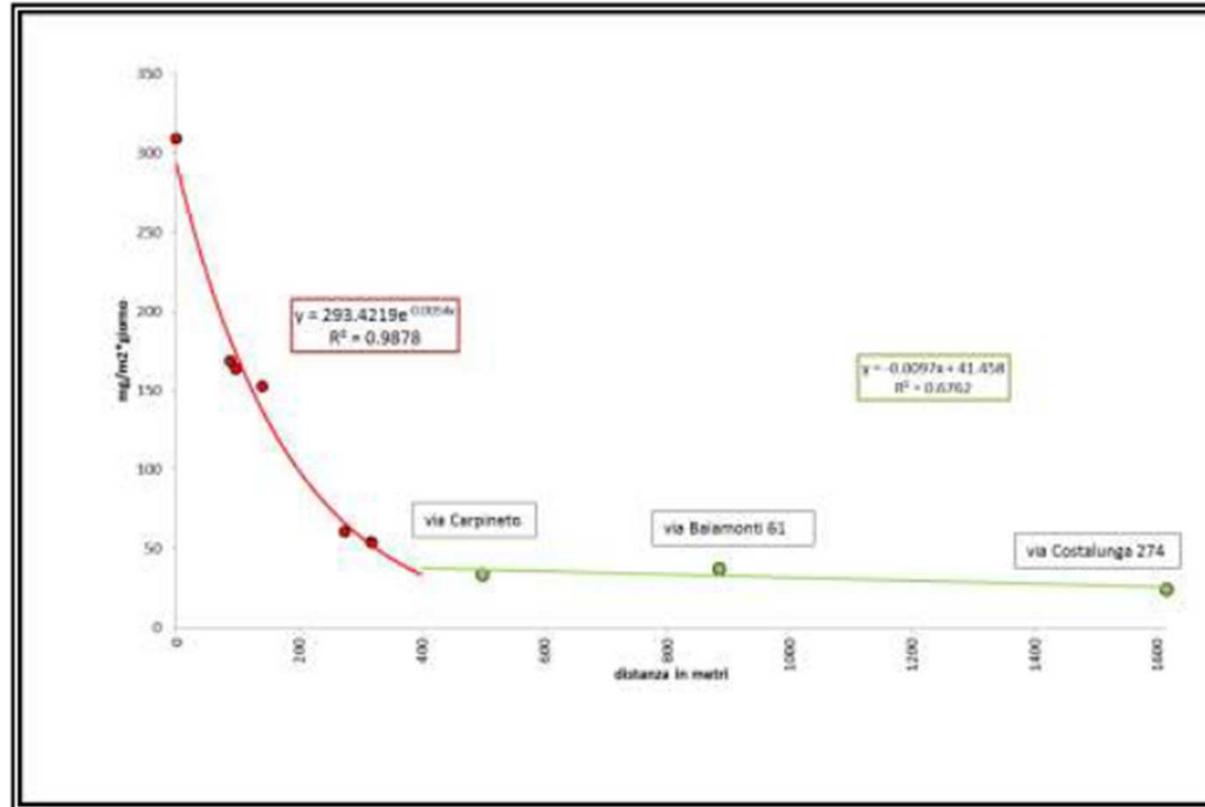


Figura 6 Andamento completo dei valori medi di ricadute in funzione della distanza dal confine. La curva esponenziale rossa si sarebbe potuta estendere anche ai punti più lontani, ma si sarebbe persa l'aderenza tra la curva e punti sperimentali specialmente nella parte iniziale della funzione, dove si riscontrano i valori più alti ovvero più problematici; per ovviare a tale scollamento si sarebbe potuto operare una regressione pesata, ma tale soluzione avrebbe comportato l'introduzione di un certo grado di soggettività che si è preferito evitare al fine di non introdurre nel modello scelte discutibili. Si è optato perciò per l'adozione di un doppio modello: esponenziale nelle vicinanze dell'impianto siderurgico e lineare (costante) per distanze superiori.

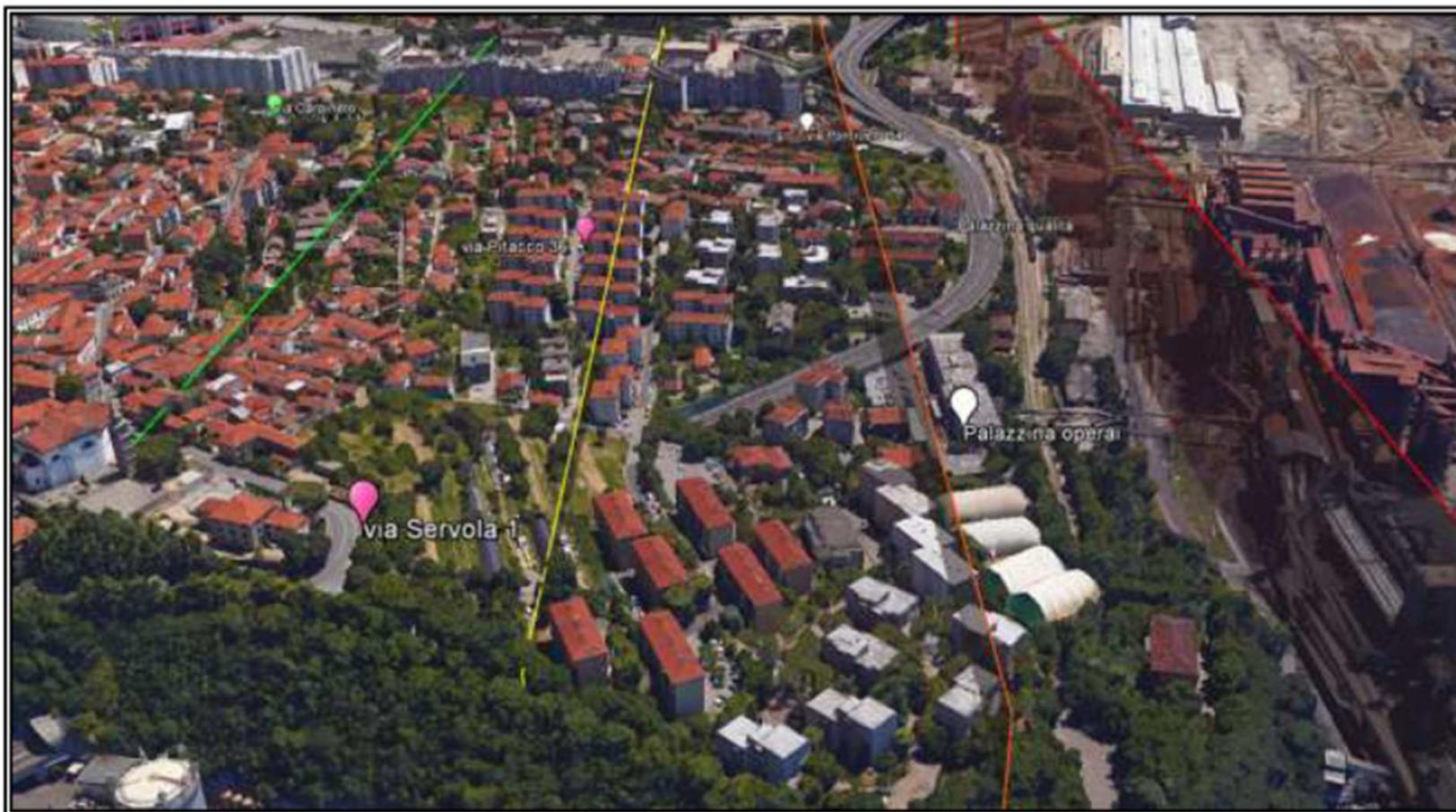
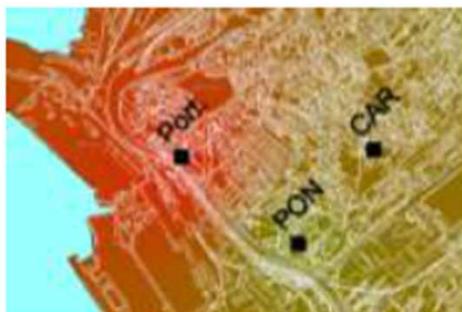
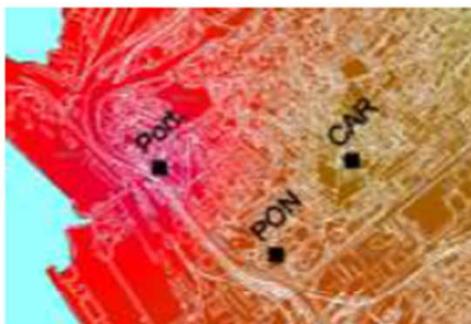


Figura 8 Al centro la linea arancione con valori di ricadute pari al 50% di quelle registrate sulla linea (rossa) di confine; e la linea gialla a cui compete un valore di 25%. L'altezza delle frontiere in figura è proporzionale alle quantità di polveri.

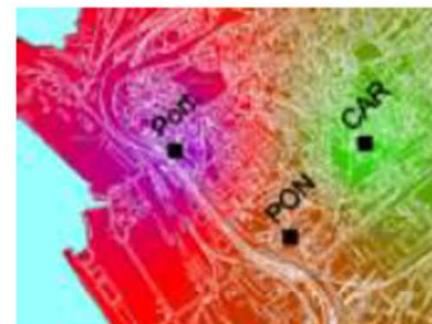
2011



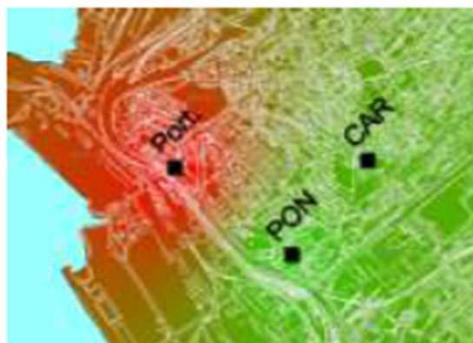
2012



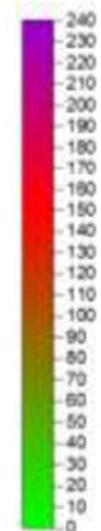
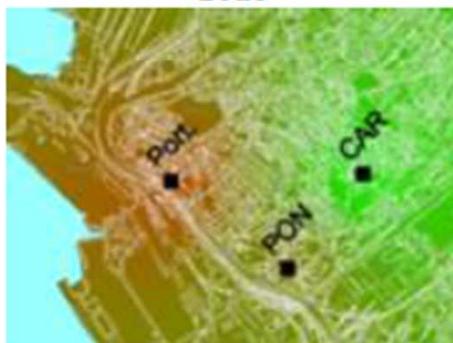
2013



2014



2015



TREND ANNUALE
DEPOSIZIONI BaP:

(ng [BaP] m⁻² al giorno)

Algoritmo di interpolazione:
Inverse distance to a Power
(Power = 2).
Software: Surfer 8.04, Golden
Surfer Inc.

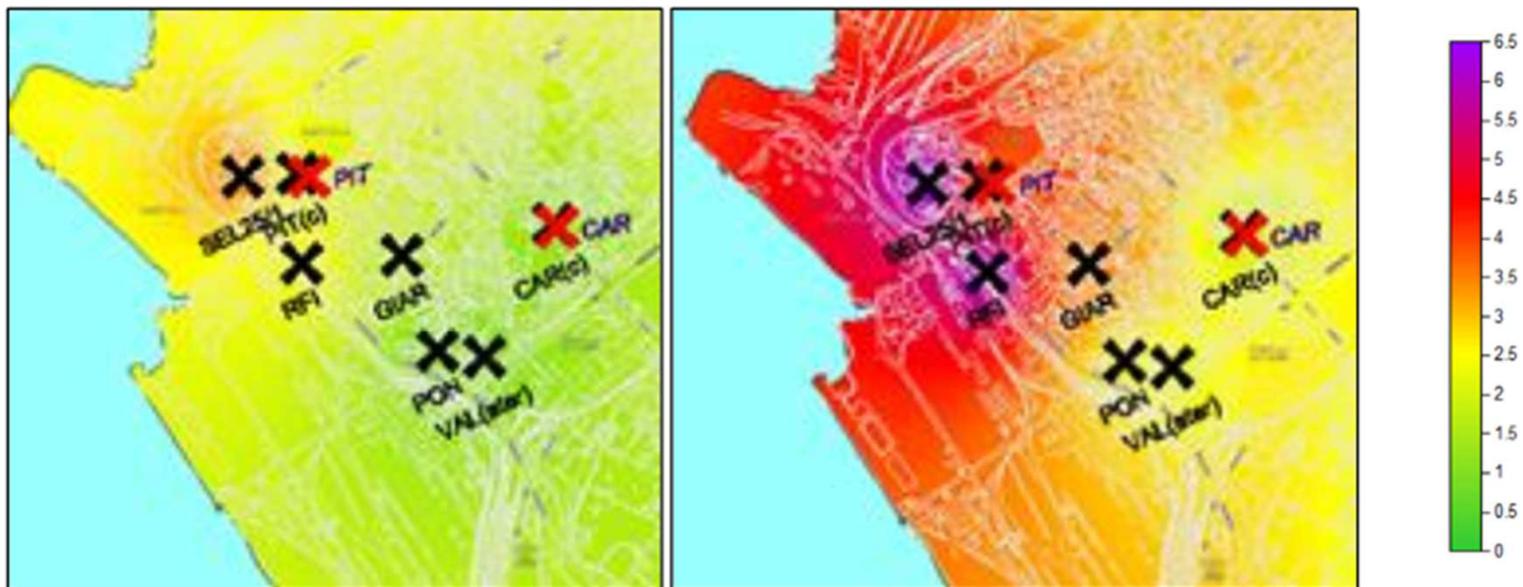


Figura 18: mappe indicative della concentrazione di benzene ottenute dall'interpolazione dei dati di Radiello®. Si ricorda che il metodo è indicativo, non è adatto cioè al confronto con il valore limite previsto dalla normativa vigente (D. Lgs 155/2010 e s.m.i.); inoltre la copertura temporale annuale delle campagne si attesta ad un valore prossimo al 50%.

Prevenzione e misure di riduzione delle emissioni per la riduzione del rischio

Interventi sui flussi di materia

Ottimizzazione di processo

*Trattamento «di fine processo»
(end of pipe)*

Box 2.1. Examples of risk reduction measures (RRMs)

Substance flow measures:

- recycling of waste
- substitution of substances in products
- quality of raw materials and products

Process optimization:

- good housekeeping
- process-internal recycling
- substitution of processing aids
- process optimization

End-of-pipe treatment

- waste-water treatment
- gas-flow treatment
- waste destruction and disposal

(6CFU Impianti di trattamento degli effluenti inquinanti)

Table 2.5. Some options for reducing or preventing emissions for a number of example substances.

Substance	Process (chain leakage)	Substance flow measures	Process optimization	End-of-pipe measures
Cadmium	waste incineration	substitution of Cd in products		electrostatic filtration
	agriculture	reduction of Cd-content in phosphate products		
2,3,7,8-TCDD	metal plating		electrolysis	precipitation
	waste incineration	avoidance of strong variation in waste composition	temperature control in process	scrubbing and adsorption
Dieldrin	agriculture	substitution by less harmful pesticides		
Chloroform	pharmaceutical industry	solvent substitution	improvement process control (closed equipment, vapour return)	adsorption, incineration
2-Propanol	chemical industry			scrubbing and treatment in STP
PCB 153	(all processes)	substitution by other substances		

Disponibilità e produzione di dati

Misure

Per ottenere informazioni sulle emissioni il modo più diretto è effettuare **misure negli effluenti liquidi e nei flussi di gas** emessi.

Una **misura però si riferisce soltanto ad un campione** preso in un particolare momento da un flusso che può variare nel tempo anche per quel che riguarda le concentrazioni dei composti d'interesse.

Il risultato deve quindi essere trasformato in **dati di emissione più generalmente applicabili**, sulla base delle conoscenze del processo o attività durante il campionamento ed in generale nel tempo (specie per emissioni a blocchi o di picco).

Informazioni sulle condizioni di processo, spesso più difficili da ottenere da uno o più campioni. Posson esser utili informazioni su qualità e quantità di materie prime e prodotti e sulle emissioni in impianti pilota o su piccola scala.

Per molte sostanze non ci sono dati di emissione misurati.

- **Calcoli specifici**

1) Calcoli di bilancio di massa

Se in un sistema sono misurati tutti i flussi eccetto uno, questo può essere calcolato. Per un certo processo o attività e per un certo periodo vale:

$$I = E_w + E_a + E_s + W + P + dS + D \quad (2.1)$$

where

- I = input (amount produced, purchased, etc.)
- E_w = amount discharged with wastewater
- E_a = amount emitted into the air
- E_s = amount released to the soil
- W = amount in outgoing waste
- P = amount in outgoing product
- dS = difference in amount in storage at start and end of period
- D = amount degraded (thermally, biologically and chemically).

Esempio

Determinazione delle emissioni di CHCl_3 in aria in un impianto farmaceutico che usa il cloroformio come solvente

L'input (il quantitativo comperato dalla compagnia) dovrebbe essere uguale all'output (il quantitativo - misurabile -rilasciato negli effluenti liquidi e nei rifiuti più quello emesso in aria e al suolo - difficile da misurare)

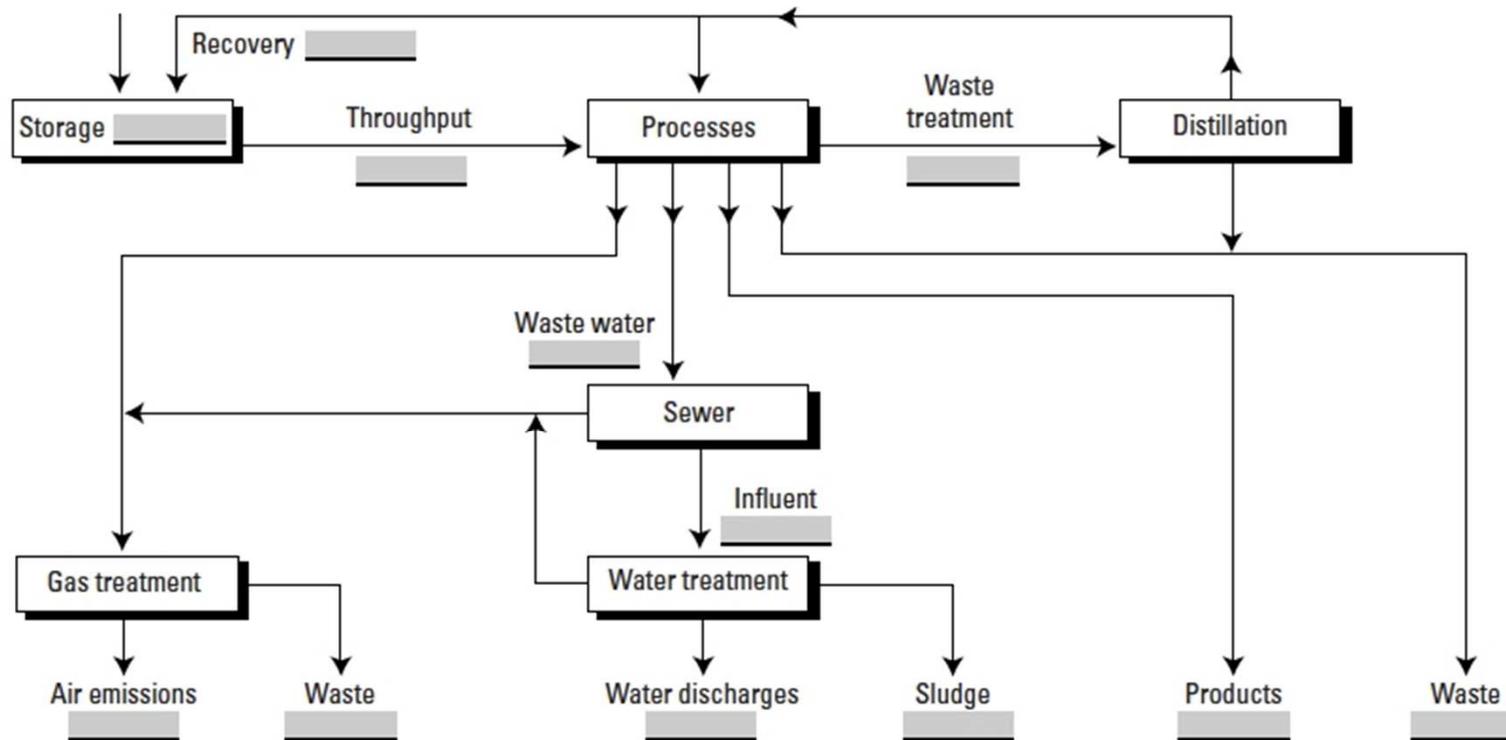


Figure 2.8. Simplified diagram of the processing and composition of mass balances of solvents. Each grey block contributes to the mass balance of the solvents [7].

2. Calcoli basati su caratteristiche del processo e **proprietà della sostanza**

Per stimare il rilascio di una sostanza in un solo comparto (es. evaporazione di solvente da un serbatoio aperto o di IPA da un legno trattato con creosoto (derivante dalla distillazione o di legna, o di catrami minerali)).

1.+ 2.

Si impiegano modelli che accoppiano bilanci di massa con calcoli basati su caratteristiche di processi e sostanze in particolare per composti organici; si deve tener conto di solubilità in acqua, tensione di vapore, coefficiente di partizione tra ottanolo e acqua, assieme a caratteristiche definite dei processi (T, P, flussi). Risulta *non banale incorporare cinetiche di biodegradazione* in considerazione delle incertezze sugli adattamenti delle popolazioni microbiche e sulle bio-cinetiche (popolazioni di microorganismi es. negli impianti di trattamento dei reflui non sono stabili nei fanghi e variano tra impianto e impianto).

Es.: <http://www.epa.gov/opptintr/exposure/pubs/episuite.htm>

- WVOLWIN™: Estimates the rate of **volatilization of a chemical from rivers and lakes; and calculates the half-life for these two processes from their rates**. The model makes certain default assumptions with respect to water body depth, wind velocity, etc.
- STPWIN™: Using several outputs from EPI Suite™, this program predicts the removal of a chemical in a typical activated sludge-based sewage treatment plant. Values are given for total removal and three processes that may contribute to removal: **biodegradation, sorption to sludge, and air stripping**. The program assumes a standard system design and set of default operating conditions.
- LEV3EPI™: This program contains a level III multimedia fugacity model and predicts **partitioning of chemicals among air, soil, sediment, and water under steady state conditions** for a default model "environment". Some (but not all) system default values can be changed by the user.

Table 2.6. Fate and behaviour of some solvents in active-sludge plants with a low load, based on model calculations^a [8].

Substance	Water	Air	Sludge	Degradation
Toluene	1- 2	31 - 69	0-1	32-67
Methanol	<<1	<<1	<<1	> 99
Acetone	1 - 2	<<1	<<1	98 - 99
Dichloromethane	2- 3	20 - 56	<<1	40 - 77
Tetrachloromethane	1- 2	94 - 99	0-2	0 - 2
1,2-Dichloroethane	19 - 30	30 - 50	0 - 1	20 - 50
Trichloroethylene	1- 2	84 - 95	0-1	3-12
Monochlorobenzene	2- 4	63 - 85	1-8	6-25

^aNumbers represent percentages.

Applicazione di fattori di emissione

Misure e calcoli specifici vengono effettuati solo per un numero limitato di sorgenti e sostanze.

I risultati di queste misure possono essere impiegati per derivare fattori di emissione, che devono essere correlati alle dimensioni dell'attività (il volume di produzione del processo).

Questi fattori di emissione possono essere usati per calcolare le emissioni di altre sostanze trattate in modo simile per cui misure on site non siano pratiche o possibili.

I fattori di emissione possono essere usati a livello di:

- 1) Apparato o impianto
- 2) Settore industriale
- 3) Nazione

Possono essere significativamente diversi.

Vengono determinati per ben definite situazioni tecniche (tipo di pompe, bruciatori, tecnologie di abbattimento) o mediando e considerando tecnologie antiquate

Tiers

A tier represents a level of methodological complexity. Usually three tiers are provided;

- Tier 1 is the simple (most basic) method;
- Tier 2, the intermediate;
- Tier 3, the most demanding in terms of complexity and data requirements.

Tiers 2 and 3 are sometimes referred to as higher tier methods and are generally considered to be more accurate.

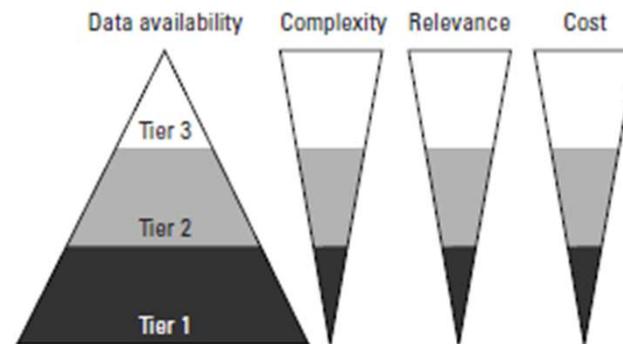


Figure 1.17. The simplicity-complexity dilemma.

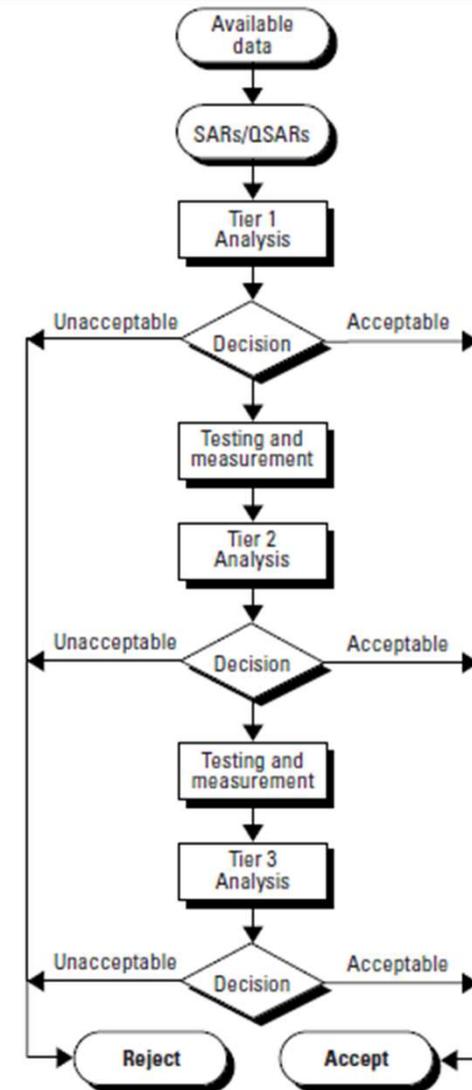


Figure 1.16. Diagram of the risk assessment process. Modified from Cairns Jr., Dickson and Maki [92].

- <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>
- <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-b-fugitives/1-b-1-b-fugitive>
- www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch12/bgdocs/b12s02_may08.pdf



INventario EMISSIONi ARiA - Regione Lombardia

Ricerca
Cerca... GO

- Quick Links
- Home
 - Inemar.eu
 - Scarica dati
 - Cos'è INEMAR
 - Metodologia
 - L'inventario 2014
 - La revisione pubblica
 - Lettura dei dati
 - L'inventario 2012

InemarDatiWeb: WebHome > Inventario delle emissioni in atmosfera nell'anno 2014

Inventario delle emissioni in atmosfera nell'anno 2014

In questo sito è presentato l'inventario delle emissioni in atmosfera INEMAR (INventario EMISSIONi ARiA) realizzato da ARPA Lombardia per conto di Regione Lombardia, con riferimento all'anno 2014.

È possibile accedere al database INEMAR e scaricare i dati con diversi livelli di aggregazione:

- i dati di emissione 2014 per i comuni della Regione Lombardia, per attività CORINAIR (macrosettore, settore, attività) e per tipo di combustibile (crea un'elaborazione personalizzata).
- i dati riassuntivi di emissione 2014 a livello regionale e provinciale.

Sono fornite sintetiche informazioni riguardo a:

- le emissioni in atmosfera
- gli inventari emissioni
- le sostanze inquinanti ed i loro effetti sulla salute e sull'ambiente
- i principali link legati a questa tematica
- la struttura del database INEMAR (descrizione dei moduli e aspetti informatici).



- aria
- acqua
- suolo
- rifiuti
- rumore
- radiazioni
- rischi industriali

sei in: home page » aria » pressioni »

Catasto emissioni



L'inventario emissivo regionale relativo all'anno 2013, come previsto dal [processo di qualità ISO 9001](#), ha iniziato la fase di Revisione Pubblica che durerà fino al **10 agosto 2017**.

[Documento contenente maggiori dettagli su percorso di Revisione Pubblica dell'Inventario delle Emissioni in Atmosfera.](#)

Download dei dati dell'Inventario INEMAR FVG in forma tabellare

- > [Emissioni totali per Provincia e per Macrosettore SNAP \(*.xlsx\)](#)
- > [Emissioni totali per Provincia e per Macrosettore SNAP \(*.csv\)](#)
- > [Emissioni totali per Comune e per Macrosettore SNAP \(*.xlsx\)](#)
- > [Emissioni totali per Comune e per Macrosettore SNAP \(*.csv\)](#)
- > [Emissioni totali regionali per Macrosettore - Settore - Attività SNAP \(*.xlsx\)](#)
- > [Emissioni totali regionali per Macrosettore - Settore - Attività SNAP \(*.csv\)](#)

***Un caso di studio
sulla determinazione di fattori emissivi
da una specifica tipologia di sorgenti:
i dispositivi di combustione domestica
di biomasse***

*SMART ENERGY
Network of Excellence*

*TERMICA DA BIOMASSE
E QUALITÀ DELL'ARIA
Udine, 25 Giugno 2014*

Esperienze di monitoraggio delle emissioni su impianti domestici



*PIERLUIGI BARBIERI
Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche
ARCO SolutionS S.r.l. – Spin Off DSCF*



Università degli Studi di Trieste

Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche - DSCF

«La casa delle scienze chimiche in FVG»

Gruppo di ricerca in chimica ambientale

Particolato aerodisperso - composti organici volatili

Ambiente Ricerca Consulenze e Soluzioni Sostenibili srl

Spin off del DSCF: ARCo SolutionS srl

Unità Operativa Sviluppo e Ricerca Techno AREA, Gorizia

Iscritta alla Sezione speciale del Registro delle Imprese per le **START-UP INNOVATIVE**

Gruppo LEGNO Agripolis (Legnaro – PD)

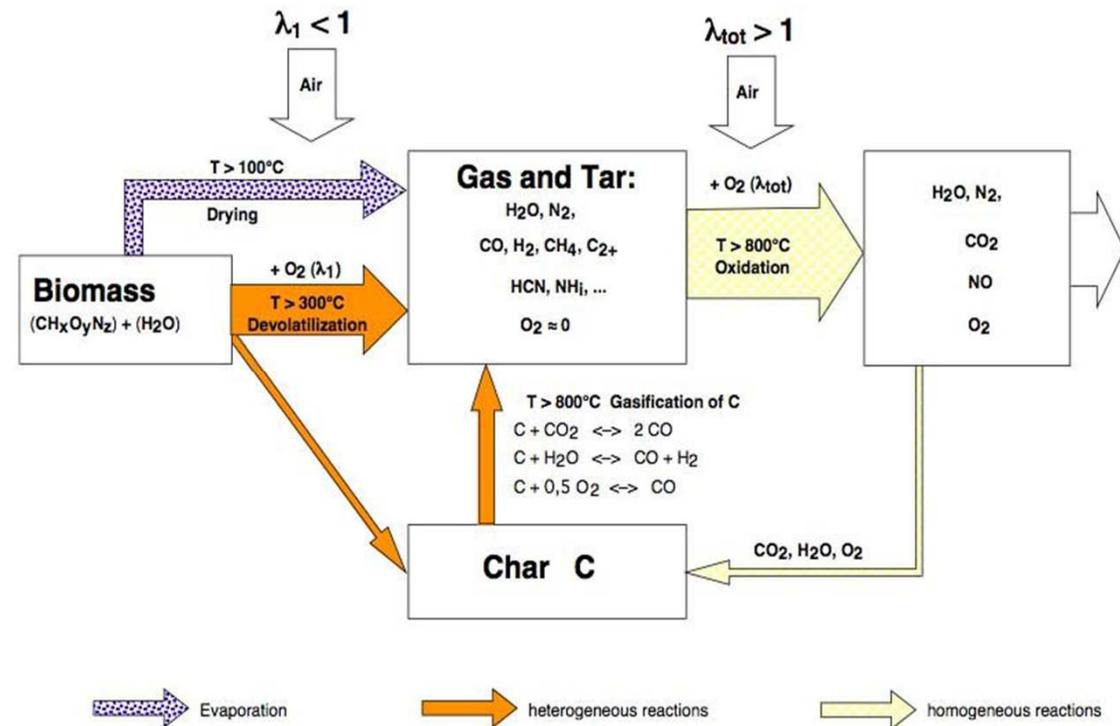
Ordine Professionale dei Chimici di Trieste

Progetto	Immissioni (recettori)	Emissioni (sorgenti)	Modellistica dispersionale
PRIN SITECOS 2004 (2005)	X		
Comune di Trieste 2005/6	X		
Monitoraggi a Trieste 2007/08	X		
Palazzetti Lelio spa "Valutazione di emissioni di inquinanti da stufe a legna: studi analitici su idrocarburi policiclici aromatici e valutazioni tossicologiche su polveri sottili", 2007-2008		X	
Monitoraggi a Manzano (2010/11)	X		X
MADBAG Regione FVG			X
PRIN LENS "Valutazione delle emissioni dalla combustione domestica di biomasse legnose: sviluppo di sistemi di campionamento e studi sperimentali su sistemi tradizionali e tecnologie di mitigazione delle emissioni" nell'ambito del PRIN 2008 "La combustione della legna come fonte di energia primaria: sviluppo di metodologie integrate per la valutazione di rischi e benefici. (LENS: Legna, ENergia, Salute; coordinatore Prof. Demetrio Pitea); (2011/12)		X	
POR FESR FVG -Palazzetti Lelio Spa "Confronto tra apparecchi a legna o a pellet, con diversa camera di combustione, delle emissioni di inquinanti: studi analitici su particolato e idrocarburi policiclici aromatici" 2010/2011		X	
POR FESR FVG -Palazzetti Lelio Spa "Confronto delle prestazioni tra apparecchi a legna e a pellet, con diversa camera di combustione" 2011/2012		X	
Sito rurale vs Hot spot 2012-...	X		
FESR-SHARM (Supporting Human Assets in Research and Mobility) - ARCo SolutionS" -"Combustione domestica sostenibile di biomasse di provenienza regionale (Friuli Venezia Giulia)" 2013		X	33

La combustione di biomasse

Processo complesso reazioni consecutive eterogenee ed omogenee:
Essiccazione, devolatilizzazione, gassificazione, combustione del char ed ossidazioni in fase gassosa

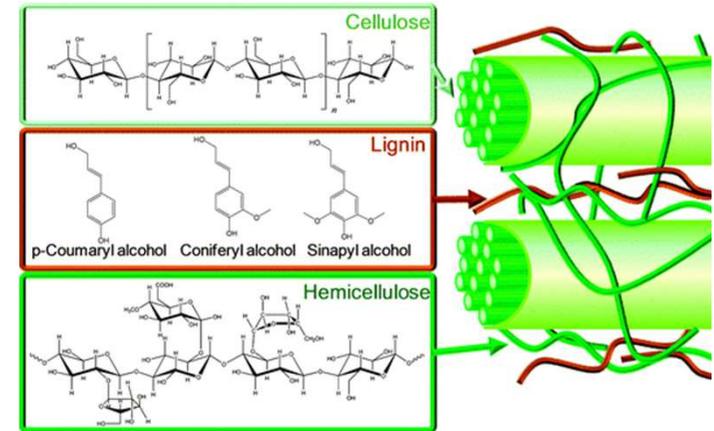
Tempo di ciascuna reazione dipende da dimensioni e proprietà del combustibile, temperatura e condizioni di combustione



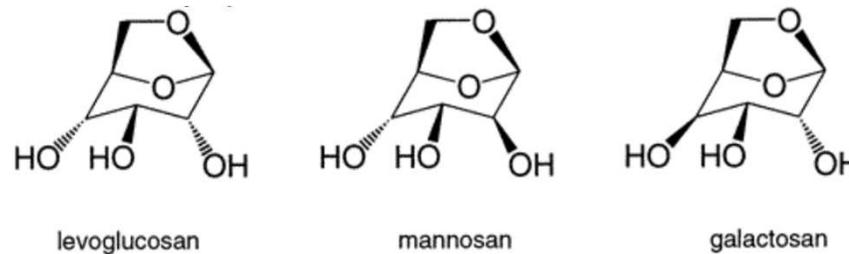
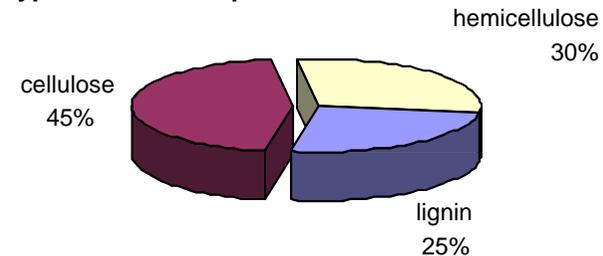
Tra gli incombusti emessi:

Candidate markers

- K^+
- Common inorganic biomass burning tracer
- Levoglucosan
 - Cellulose thermal decomposition product
 - Major component of wood smoke
- Mannosan and Galactosan
 - Stereoisomers of levoglucosan
 - Formed from hemicellulose decomposition
 - Much less abundant than levoglucosan

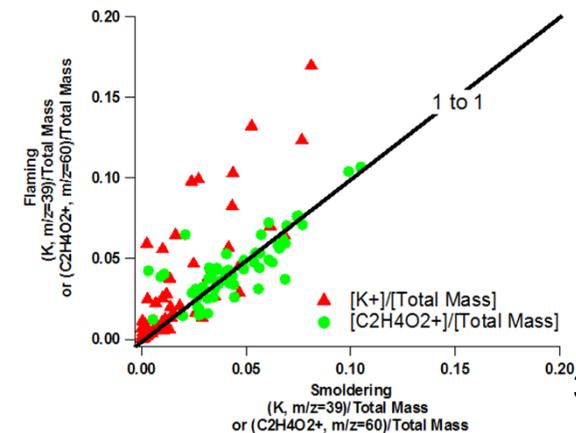
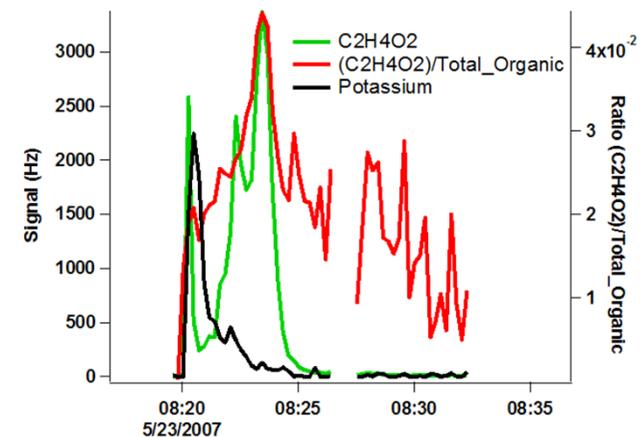
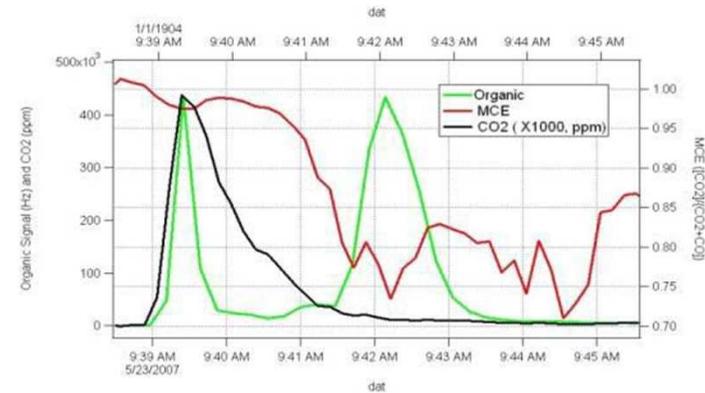


Typical wood composition



Smoke marker evolution

- Emissions change between flaming and smoldering phases of burn
- K^+ emitted mostly in flaming phase
- Levoglucosan and related compounds emitted in both flaming and smoldering phases
- Levoglucosan should be a more universal smoke marker

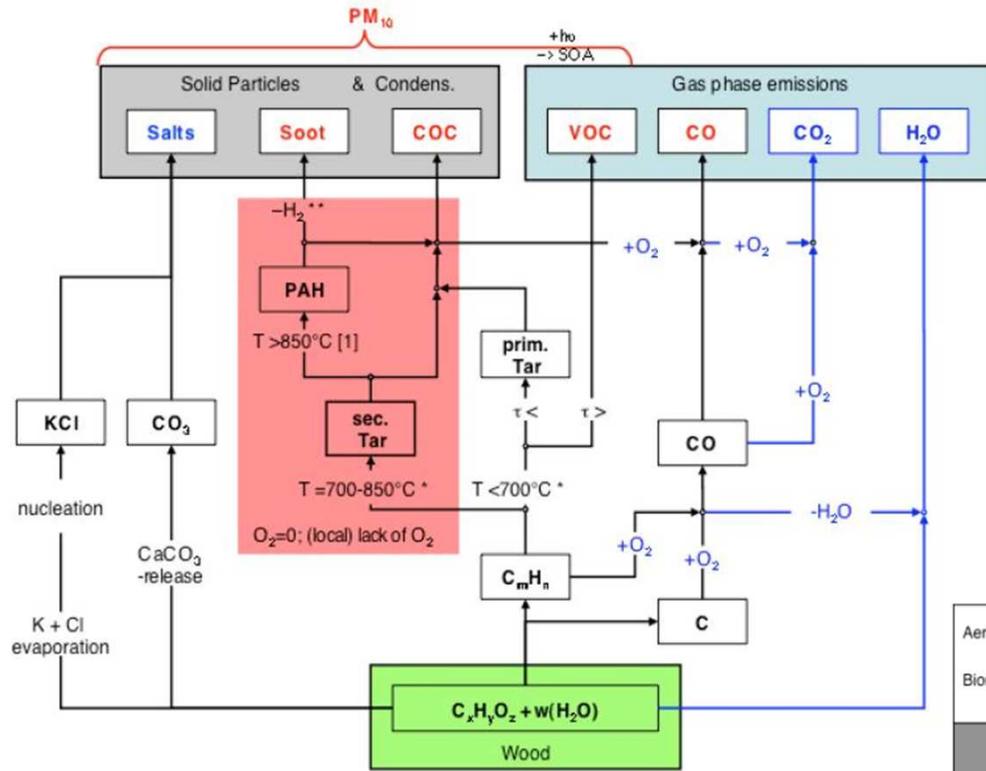


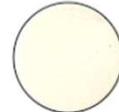
Formazione di inquinanti dalla combustione di biomasse

Formazione di inquinanti:

1. *Combustione incompleta*: -> inquinanti contenenti C (incombusti CO, fuliggine, condensabili organici (“tar”), IPA...)
2. NO_x e particolato formati come prodotto naturale di reazione dei *costituenti del combustibile* (N, K, Cl, Ca, Na, Mg, P, S)
3. I biocombustibili possono esser portatori di *altri contaminanti* come metalli pesanti, che vengono emessi e catalizzano la formazione di composti anche clorurati

Inquinanti e Formazione del PM



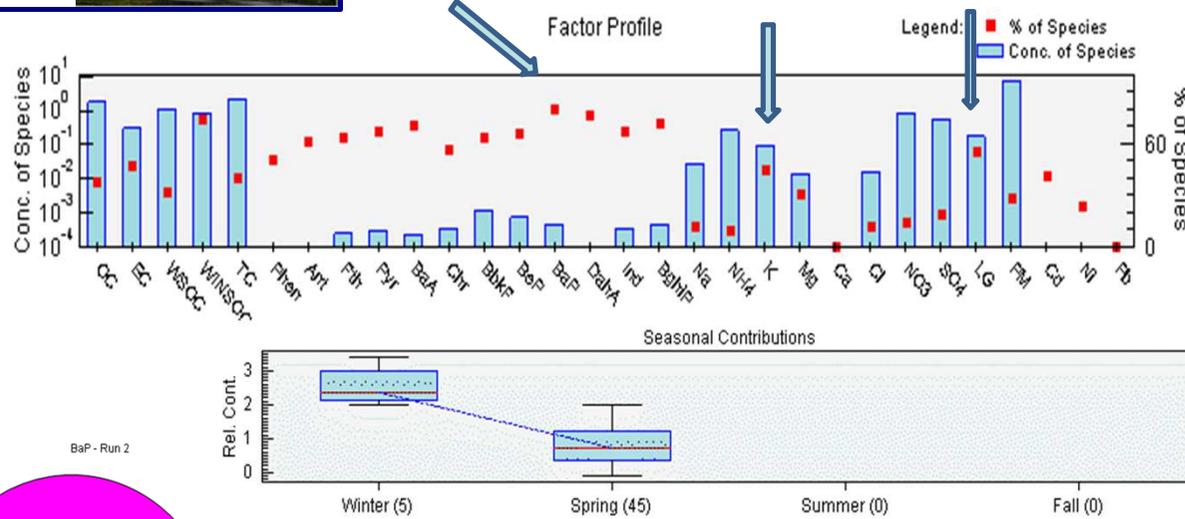
Aerosols from	Flaming Combustion			Pyrolysis
	high temperature and lack of O ₂ in the flame	- Mix -	T and O ₂ good	low temperature due to pyrolysis conditions or very high excess air
View				
PM	Soot	Salts + Soot	Salts	COC
Composition	EC / BC chemical / optical C/H > 6...8	↔	CC + Minerals carbonate C + inorg. M	OC = TC-EC-CC C/H < 2
Colour	black	grey	white	brown none
Health effect	toxicity carcinogeny inflammatory	↔	low toxicity low carcinogeny inflammatory	high toxicity high carcinogeny inflammatory
Climate: Direct	↑ absorbs light and heats atmosphere	↔	↓ scatters light and cools earth surface	↔ weakly absorbs and scatters
Climate: Indirect	↑ snow albedo ↓	↓	↓	↓
All particles act as CCN and lead to indirect cooling due to cloud albedo and cloud lifetime effect				



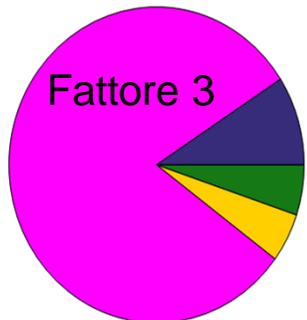
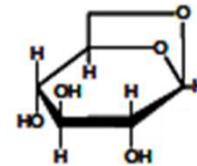
Piazza Chiodi

PMF Manzano (UD) FATTORE 3

Combustione di biomasse



Levoglucosano derivante dalla pirolisi della cellulosa



Contributi dagli altri fattori

Valori media a confronto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$):

LG PC	LG BG
035	025

«Ancora nel novembre 2012 non esiste uno standard europeo comune per la misura delle polveri da impianti di combustione alimentati a combustibili solidi. La norma tecnica specifica europea, ratificata anche in Italia (UNI CEN/TS 15833) riporta diverse metodologie di misura desunte da norme nazionali.

In sostanza, ci sono due principali approcci al campionamento delle polveri: campionamento a caldo e campionamento a diluizione a freddo.

Il **metodo di campionamento a caldo** mediante filtri preriscaldati non misura le particelle organiche condensabili, che non hanno natura solida alla temperatura di combustione ma condensano in fase di raffreddamento dei fumi in atmosfera. Il metodo di campionamento utilizzato in alternativa è il **campionamento a freddo su filtro dal flusso diluito mediante tunnel di diluizione**, e comprende nella misura le particelle derivanti dal materiale organico condensabile.

I dati sperimentali disponibili in letteratura (Nussbaumer et al., 2008) mostrano come la **differenza tra i diversi metodi risulti assai rilevante per i piccoli impianti di combustione**, che spesso funzionano in condizioni non ottimali, con elevate emissioni della frazione condensabile. **Solo in condizioni di funzionamento ottimale i valori rilevati mediante il campionamento a caldo risultano comparabili con quelli ottenuti tramite la diluizione a freddo** (inferiori a questi del 10 %), mentre **nelle condizioni reali**, con un'elevata quantità di prodotti semivolatili incombusti, **le emissioni misurate a freddo possono salire da 2,5 fino a quasi 10 volte**. In altre parole, i fattori di emissioni dei piccoli apparecchi a legna sono influenzati, più di altre tipologie di fonti stazionarie, dalle modalità di campionamento e misura del particolato.

La frazione condensata dipende anche dal valore del rapporto di diluizione, raggiungendo un massimo intorno a 10 e poi riducendosi a causa dell'evaporazione e del deaeramento»

Fattori emissivi per caratterizzare sorgenti

Tier 1:

$$E = F \cdot A \cdot 10^{-6}$$

(11.5)

E= emissioni di B(a)P (kg a⁻¹)

F= fattore di emissione medio di B(a)P per la combustione residenziale della biomassa (mg GJ⁻¹)

A= biomassa consumata nel settore domestico (GJ a⁻¹)

	PM10 g GJ ⁻¹	NO _x g GJ ⁻¹	NMVOC g GJ ⁻¹	SO ₂ g GJ ⁻¹	CO g GJ ⁻¹	PAH mg GJ ⁻¹
Open fireplace	500	70	5,650	13	5,650	280
Traditional oven, closed fireplace or insert	250	70	1,130	13	5,650	280
Innovative and boiler			Consumo di legna (kt/anno)	F.E. PM10 (Guidebook EEA) g/GJ	F.E. PM10 (inventario 2008) g/GJ	
Pellets plant burning wood						
Natural gas	Tier 1	Media	1570	695	284	
Gas oil	Tier 2 – Media	Camino aperto	309	860	500	
Fuel oil		Stufa tradizionale	382	810	250	
		Camino chiuso	687	450	250	
		Stufa innovativa	47	240	150	
		Stufa a pellet	122	76	70	



POLITECNICO DI MILANO
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE ED AMBIENTALE
 DOTTORATO IN INGEGNERIA AMBIENTALE E DELLE
 INFRASTRUTTURE

**LA COMBUSTIONE DI BIOMASSA IN
 PICCOLI IMPIANTI RESIDENZIALI:
 EMISSIONI, INCERTEZZE, SCENARI DI
 RIDUZIONE**

Tesi di dottorato di:
Silvia Galante

Relatore:
Ing. Stefano Caserini

Tutor:
Prof. Stefano Cernuschi

	AEIG			Proposta del presente studio		
	Valore medio	Intervallo di confidenza		Valore medio	Intervallo di variazione	
		min	max		min	max
Caminetto aperto	900	540	1,256	900	540	1,256
Caminetto chiuso				400	200	700
Caminetto	900	540	1,256			
Caminetto chiuso avanzato	250	70	260			
Stufa tradizionale	848	509	1,183	500	300	900
Stufa innovativa	251	69	262	400	200	700
Stufa a pellet	80	69	251	80	70	150

		AEIG			Proposta del presente studio		
		Valore medio	Intervallo di confidenza		Valore medio	Intervallo di variazione	
			min	max		min	max
B(a)P (mg GJ ⁻¹)	Caminetto aperto	180	130	300	130	20	300
	Caminetto chiuso				100	12	150
	Caminetto	180	130	300			
	Caminetto chiuso avanzato	100	12	150			
	Stufa tradizionale	250	150	300	150	12	300
	Stufa innovativa	100	12	150	150	12	150
	Stufa a pellet	50	12	100	25	2	50

Marzo, 2013

Dall'analisi svolte nel corso della tesi è emerso come lo stato delle conoscenze sia, per alcuni aspetti del problema della combustione domestico delle biomasse, ancora incompleto. *La principale esigenza è quella di maggiori approfondimenti sulle emissioni specifiche dei diversi apparecchi, che risultano dipendenti da numerosissimi fattori*

Come campionare il particolato su piccoli impianti/sorgenti per determinare gli EF

A caldo
 A freddo (Dil. o impinger)
 A caldo + xOGC

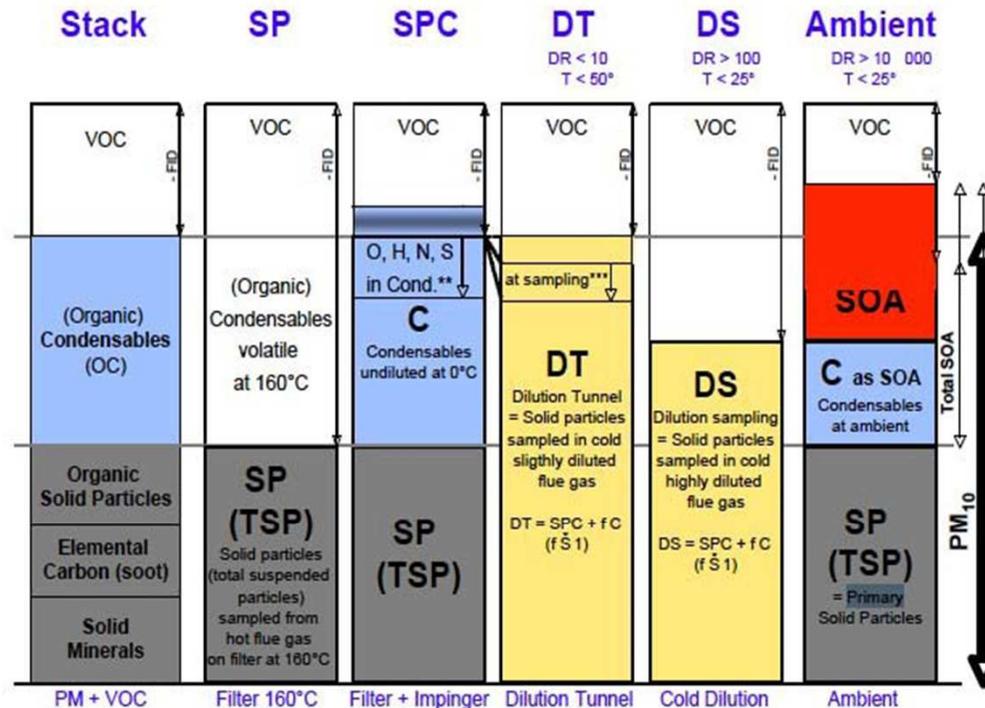


Figure 4.6 Comparison of PM sampling with PM in the ambient.
SP: Filter (Method a) resulting in solid particles SP (total suspended particles TSP).
SPC: Filter + Impinger (Method b) resulting in solid particles and condensables SPC.
DT: Dilution Tunnel (Method c) with typical dilution ratio (DR) in the order of 10 resulting in a PM measurement including SPC and most or all C. DT is identical or slightly smaller than SPC + C due to potentially incomplete condensation, depending on dilution ratio and sampling temperature (since dilution reduces not only the temperature but also the partial pressure of contaminants).
DS: Dilution Sampling with high dilution ratio (DR > 100).
PM₁₀: Total Particulate Matter < 10 microns in the ambient including SP and SOA
SOA: Secondary organic aerosols, consisting of condensables C at ambient and SOA formed by secondary reactions such as photochemical oxidation.

(Nussbaumer, 2010)

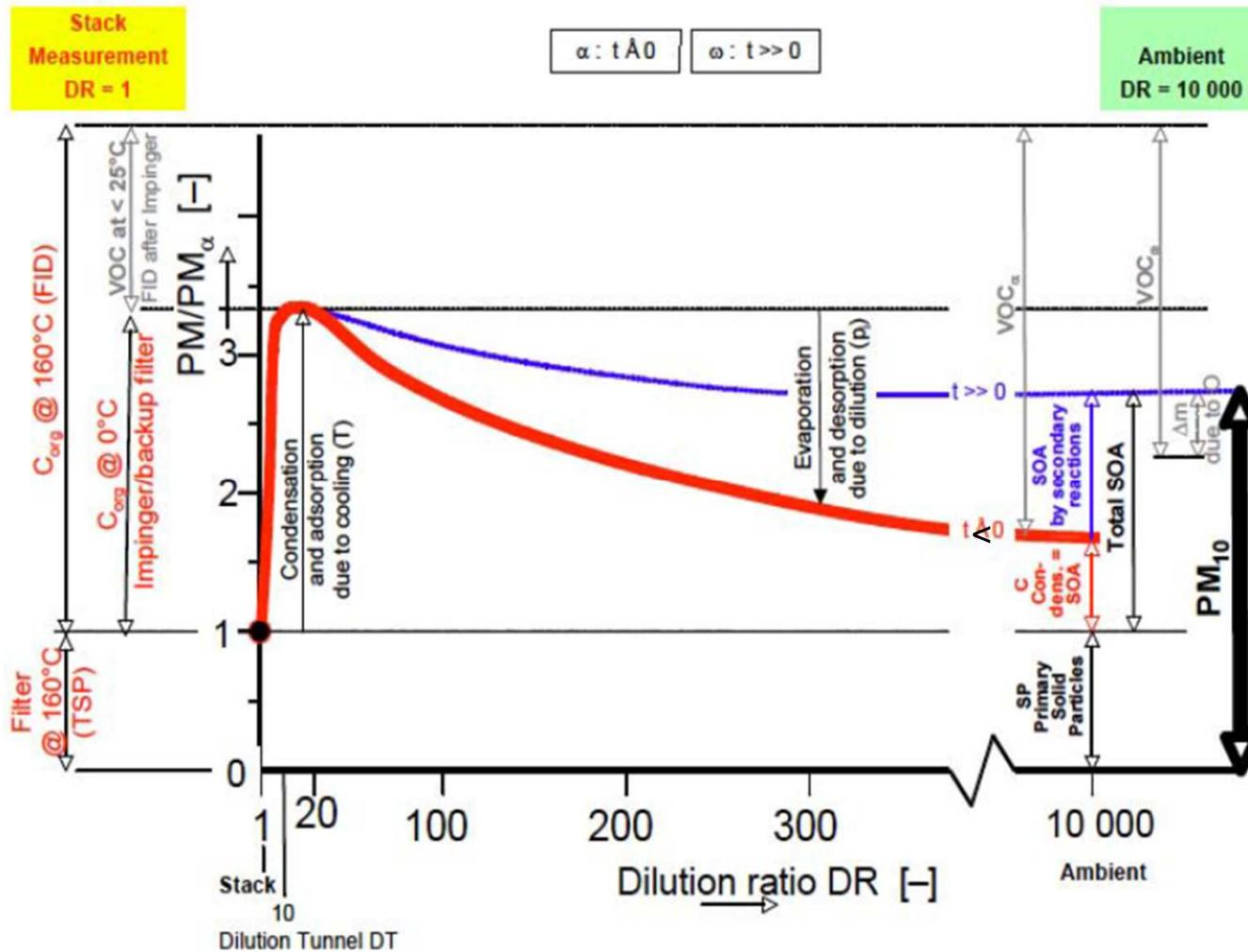


Figure 4.2 Conversion of stack emissions to PM₁₀ in the ambient. The graph shows a virtual example with total SOA = 1.8 TSP as measured in the stack and consequently PM₁₀ = 2.8 TSP.

(Nussbaumer, 2010)

Table 3. Advantages and disadvantages of certain dilution methods. (DR = Dilution Ratio)

Dilution method	Advantages	Disadvantages	Pay attention to
Ejector diluter (ED)	Stable Good mixing Can be used in the field	Losses (mainly of coarse particles) occur; they can be decreased with larger nozzle (stability decreases). DR cannot be adjusted.	Dilution ratio depends on temperature Small nozzles may clog up Losses have to be determined
Porous tube diluter (PRD)	Losses in diluter are minimized Wide range of DR can be applied Small size; can be used in the field	Sensitive to changes in sample flow	For proper mixing, after diluter there has to be some tubing before sampling equipment Losses have to be determined
PRD+ED	Stable Good mixing Losses have been minimized Wide range of DR can be applied Small size, can be used in the field	Tuning of the flows needs to be done carefully	Losses have to be determined
Dilution tunnel (whole/partial flow)	Stable	Dilution is usually high (except for whole flow tunnels) Large size; not suitable for field measurement	Losses have to be determined.
Mini-dilution tunnel	Simple and flexible	Not "standardized" Needs dedicated evaluation	Mixing has to be assured Losses have to be determined
Hood (total flow dilution tunnel)	Low DR can be achieved. "Natural draught" can be simulated	For number measurements, secondary dilution may be needed Large size	Mixing has to be assured The effect of background air on results has to be considered Losses have to be determined
CEN/TS 295 WG 5 "improved hood"	Suitable DR (10-20) for mass measurement. "Natural draught" can be simulated	Designed for TSP measurement, but losses are not defined For number measurements, secondary dilution may be needed Large size	Little experience of the method

Jokiniemi J., Hytönen K., Tissari J., Salonen R. O., Hirvonen M.-R., Jalava P., Pennanen A., Happonen M., Vallius M., Markkanen P., Hillamo R., Saarnio K., Frey A., Saarikoski S., Timonen H., Teinilä K., Aurela M., Sillanpää M., Obernberger I., Brunner Th., Bärnthaler G., Friesenbichler J., Hartmann H., Turowski P., Roßmann P., Ellner-Schubert F., Bellmann B., Boman Ch., Pettersson E., Wiinikka H., Sandström Th., Sehlstedt M., Forsberg B. **"Clean biomass combustion in residential heating: particulate measurements, sampling, and physicochemical and toxicological characterisation"** Biomass-PM Project, 2008 ISSN 0786- 4728

ERA-NET “BIOMASS-PM” Best practice recommendations

- A **dilution** of flue gas with clean air is recommended (condensables)
- Filtered air** should be used
- Dilution ratio should be monitored by continuous parallel CO₂ or NO_x in the diluted and undiluted gases. **Dilution ratio** should be high enough to ensure TD < 52°C, in the range **around 20** for the full potential of particle formation by condensation of organic vapours
- TSP** should be monitored also **in undiluted gas** (a) for comparison with sources where measurements are performed without dilution, (b) to estimate eventual losses of coarse particles
- A **stepwise chemical analysis** is recommended i) soot, organic and inorganic; ii) EC/OC; iii) fractionation and speciation of inorganic and organic matter for scientific studies, exp. genotoxic PAHs. Dilution ratio should be reported together with results of analyses
- Concerning batch combustion systems, also the **wood ignition** should be included in the test (sampling should start as soon as CO₂ exceeds 1% in volume, should end when CO₂ decrease below 4%)
- The most important size fraction to be investigated for toxicological studies is PM₁

Jokiniemi J., Hytönen K., Tissari J., Salonen R. O., Hirvonen M.-R., Jalava P., Pennanen A., Happonen M., Vallius M., Markkanen P., Hillamo R., Saarnio K., Frey A., Saarikoski S., Timonen H., Teinilä K., Aurela M., Sillanpää M., Obernberger I., Brunner Th., Bärnthaler G., Friesenbichler J., Hartmann H., Turowski P., Roßmann P., Ellner-Schubert F., Bellmann B., Boman Ch., Pettersson E., Wiinikka H., Sandström Th., Sehlstedt M., Forsberg B. “**Clean biomass combustion in residential heating: particulate measurements, sampling, and physicochemical and toxicological characterisation**” Biomass-PM Project, August 2008 ISSN 0786-4728



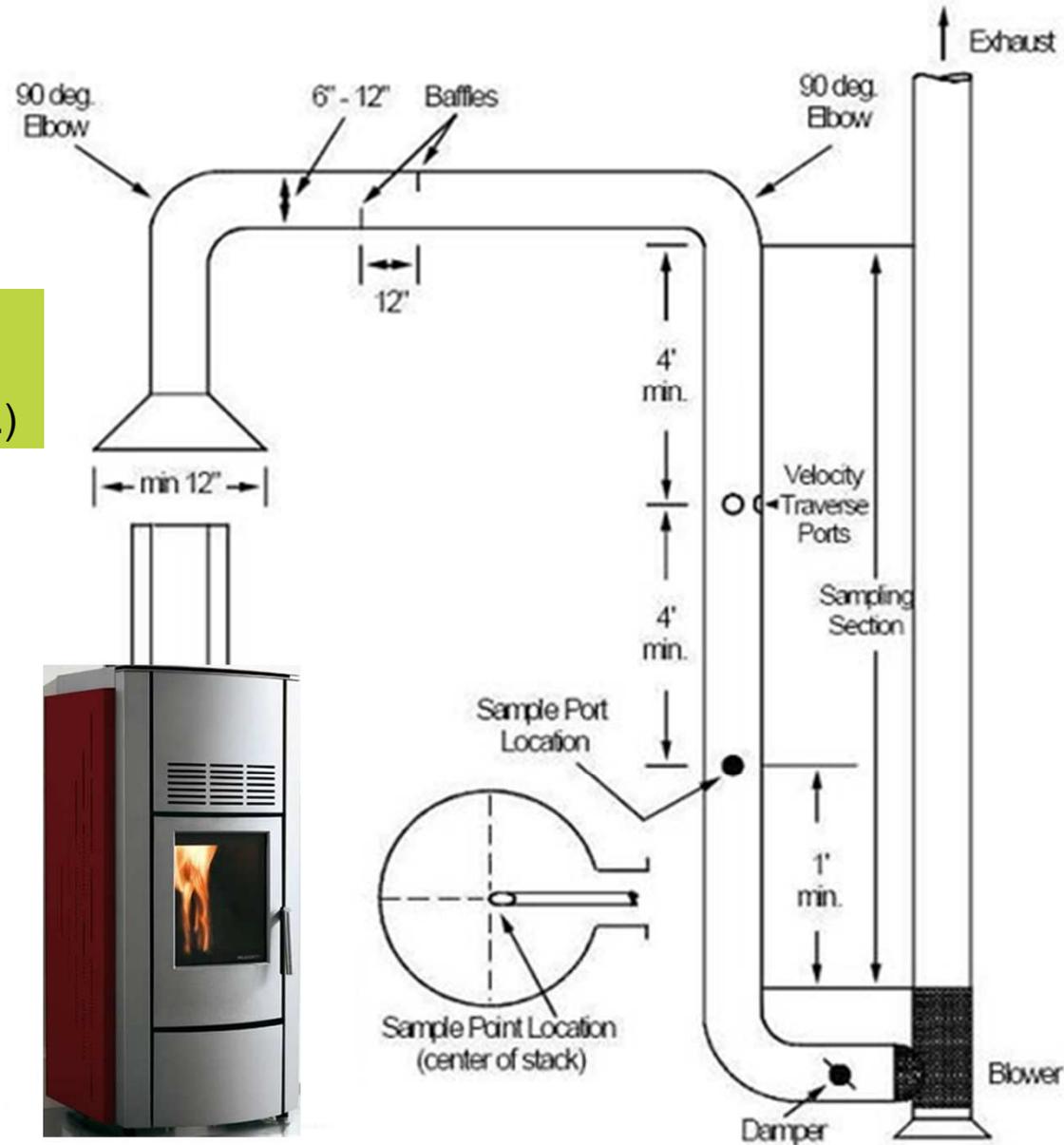
2007



2011

**DT secondo US-
EPA Method 5G**
(UNITS – Arco Sol.)

barbierp@units.it

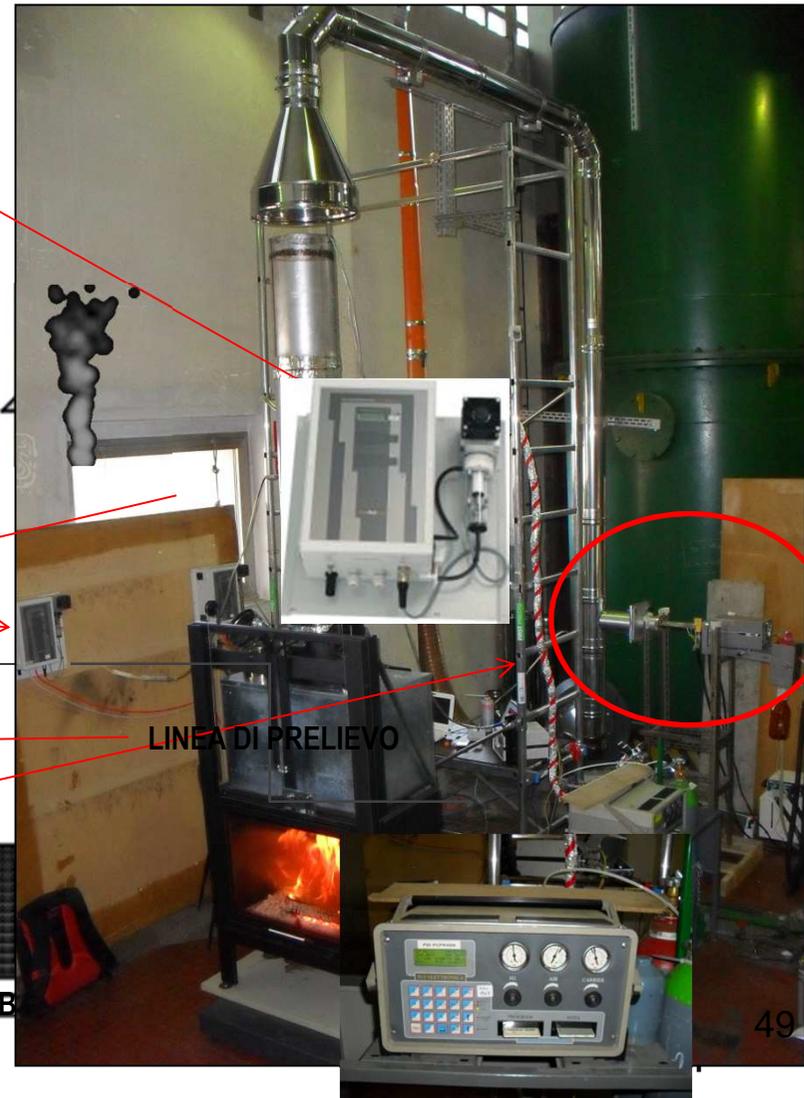


Banco sperimentale per lo studio delle emissioni

- Analizzatori per la misura della concentrazione dei gas di combustione all'interno della canna fumaria.



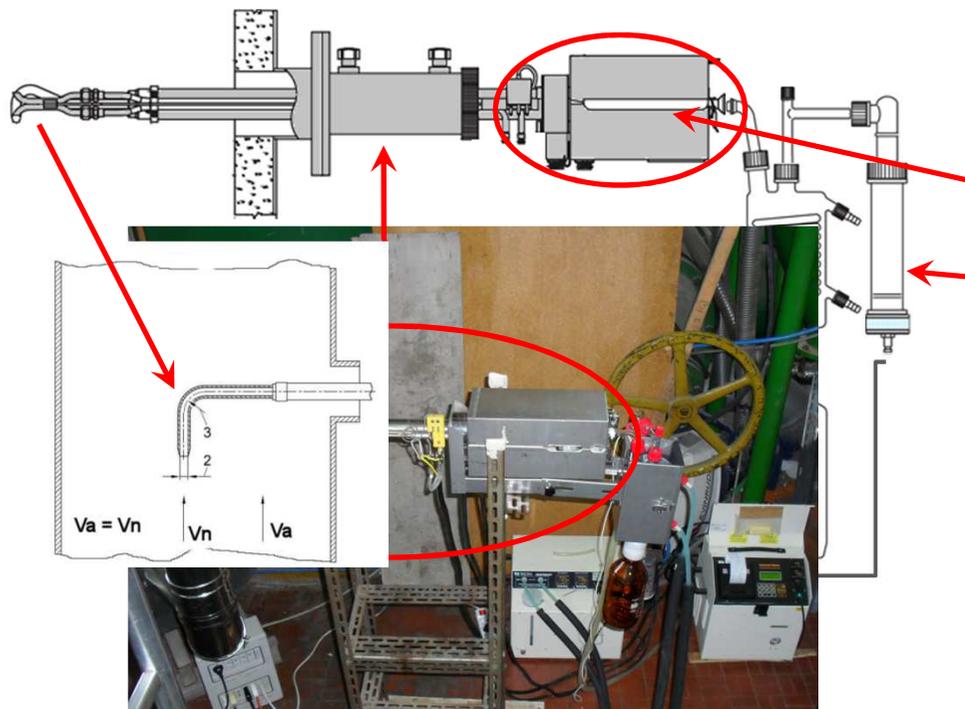
Monitor
CO₂



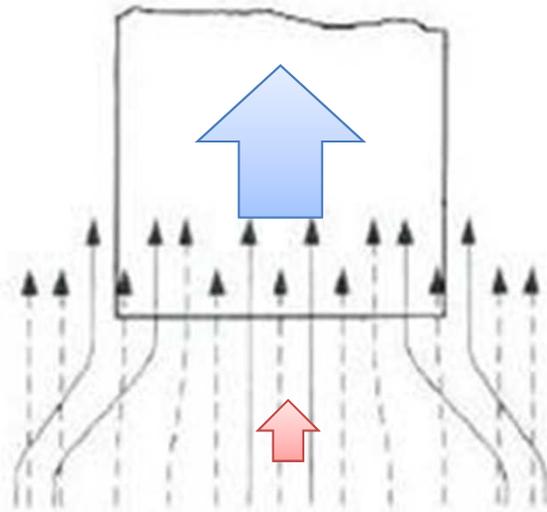
LINEA DI PRELIEVO

Strumenti per il campionamento delle polveri

- Sonda di prelievo
- Sistema filtrante per la raccolta polveri
- Condensatore e refrigeratore
- Filtro PUF per microinquinanti
- Pompa isocinetica

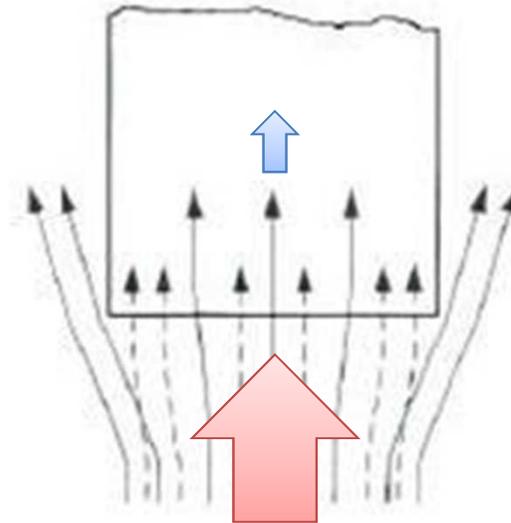


IPERCINETISMO



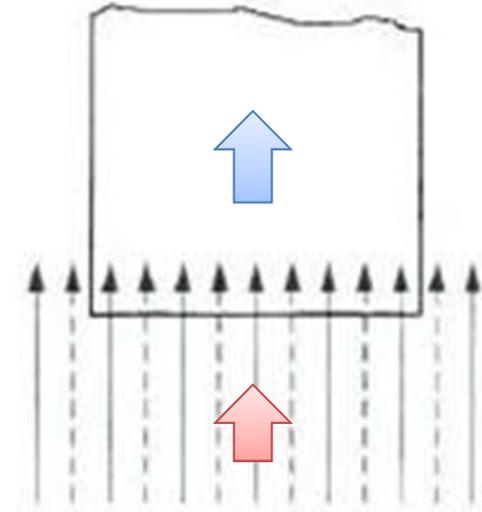
V aspirazione
> V fumi
SOVRASTIMA!

IPOCINETISMO



V aspirazione
< V fumi
SOTTOSTIMA!

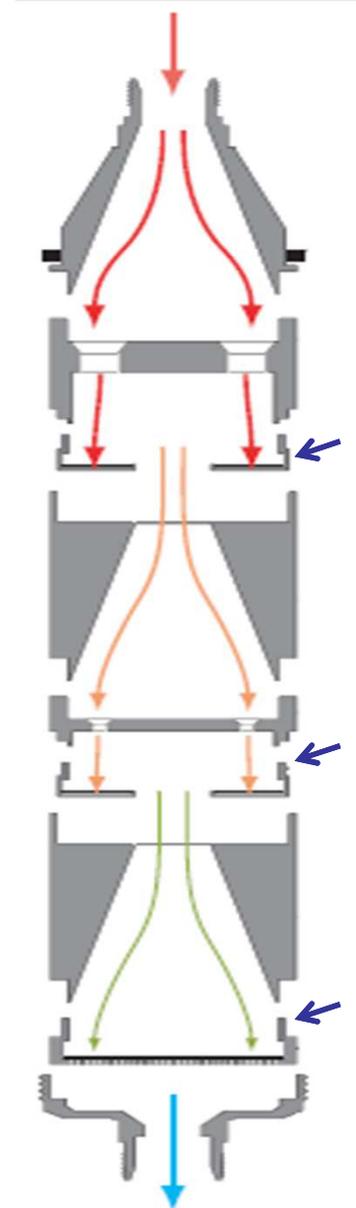
ISOCINETISMO



V aspirazione
= V fumi
CAMPIONE
RAPPRESENTATIVO!

L'impattore multistadio

- Il sistema TCR TECORA impattore a multistadio (MSSI) costituisce il cuore della linea di campionamento e l'elemento innovativo alla sperimentazione.



Primo stadio
PM > 10

Secondo stadio
10 > PM > 2,5

Terzo stadio
PM 2,5

Strumenti per la caratterizzazione di Composti Organici Volatili

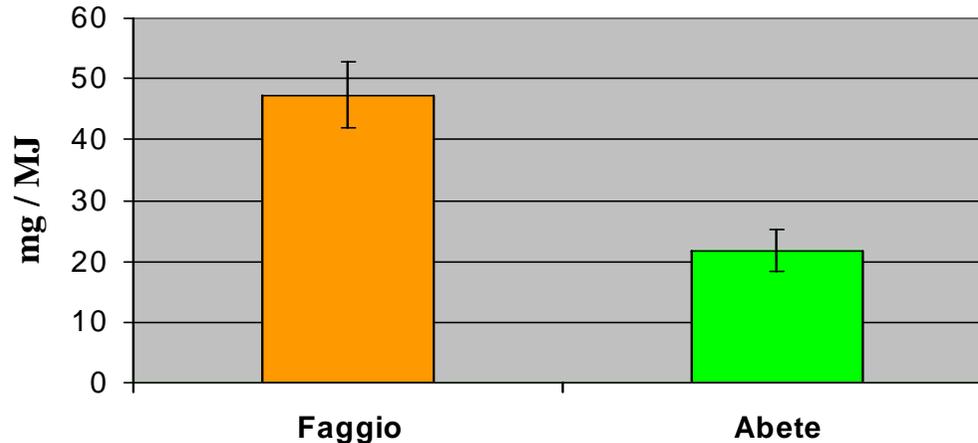
Rilevante per la speciazione dei COV
Solo alcuni (pochi) hanno significato tossicologico, altri sono precursori di SOA, altri né l'uno né l'altro. Quanto dell'uno e degli altri?

- FID ECO-CONTROL ER600
- Campionatore GasCheck/Analitica Strumenti
cartucce TENAX - TD Markes Unity/GC-MS Agilent
6890/5973
- Rilevatore a fotoionizzazione -
PhoCheck Tiger Portable PID VOC Detector



16 test di combustione con **stufa commerciale a pellet** (9kW)

Fattori emissivi medi con intervallo di confidenza per pellet di faggio ed abete



PM>10 [%]	2.5<PM<10 [%]	PM<2.5 [%]
6,59	3,78	89,63
3,75	6,17	90,08
2,69	3,26	94,06
2,47	4,56	92,97
8,28	9,87	81,86
4,59	4,27	91,14
2,77	3,72	93,52
2,98	3,25	93,77
2,53	3,14	94,33
1,43	3,27	95,30
3,81	4,53	91,67

PM>10 [%]	2.5<PM<10 [%]	PM<2.5 [%]
9,59	12,63	77,79
12,57	12,76	74,67
12,77	14,40	72,84
13,24	13,64	73,12
11,87	16,45	71,68
9,68	13,31	77,01
8,56	8,59	82,85
11,18	13,11	75,71

Ben comparabile con
S. Caserini, S. Livio,

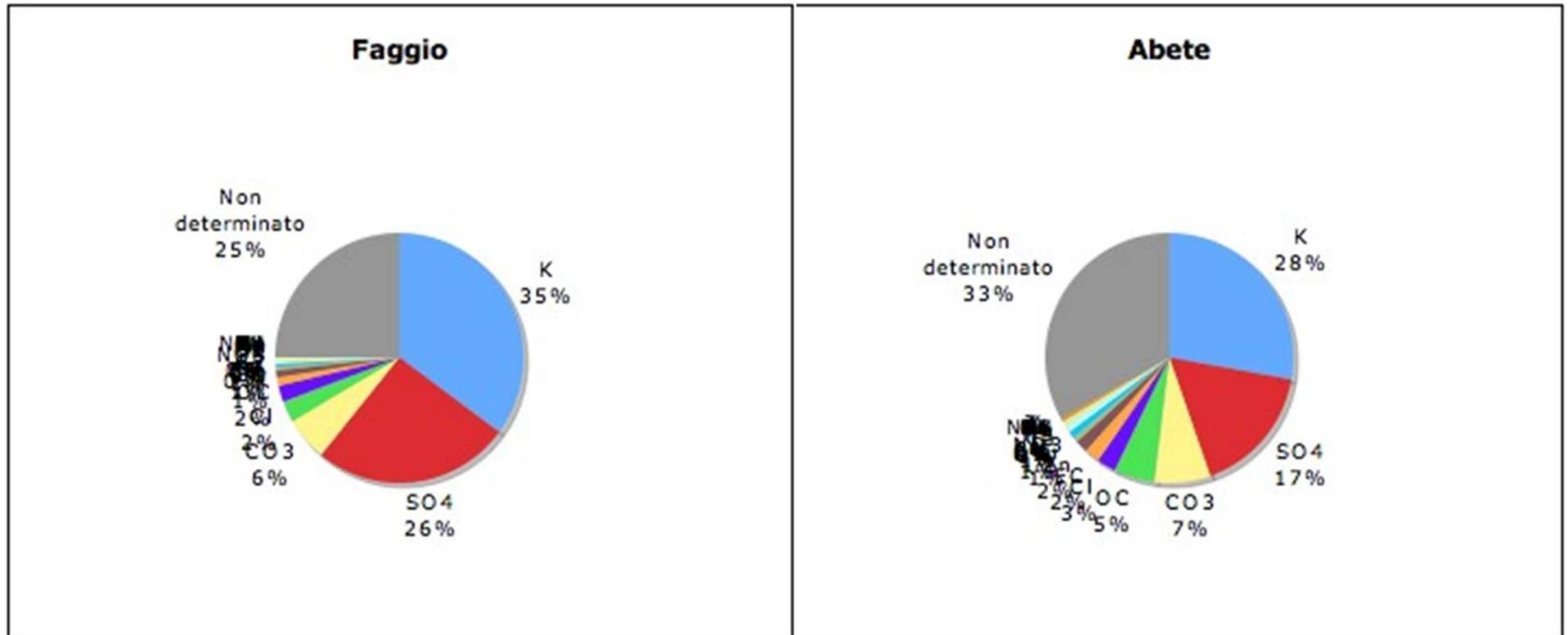
M. Giugliano, M. Grosso, L. Rigamonti

“LCA of domestic and centralized biomass combustion:
The case of Lombardy (Italy)”

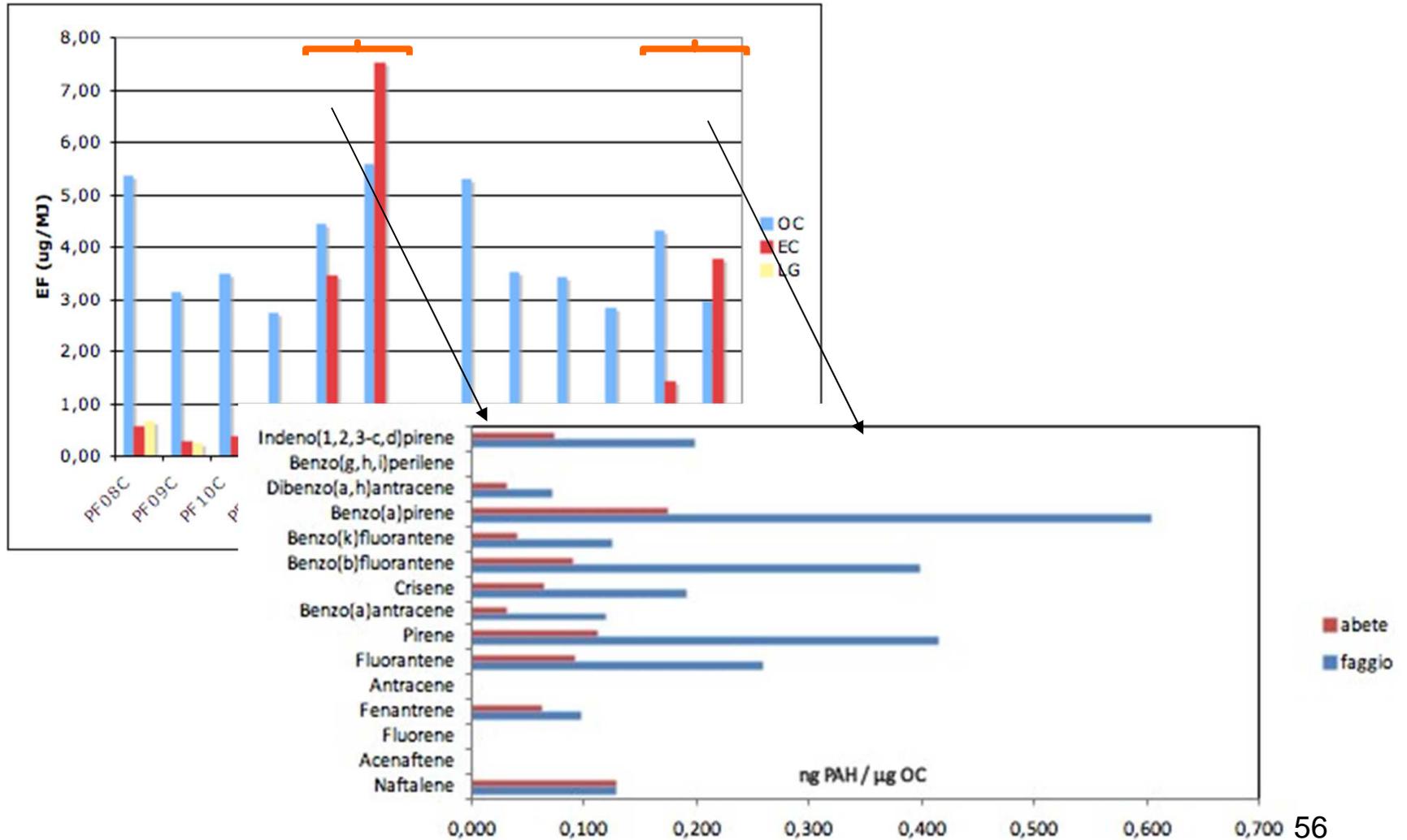
Biomass and bioenergy 34 (2010) 474–482

Condizionamento filtri 48h camera T=25° C, umidità 50%;
pesata con bilancia 10⁻⁶ g

Composizione filtri test emissioni post tunnel di diluizione



Fattori emissivi



Risultati speciazione Composti Organici Volatili

Aspirazione e adsorbimento di COV non diluiti su cartuccia TENAX
 Analisi per desorbimento termico (Markes Unity) e GC/MS (Agilent 6890/5973)

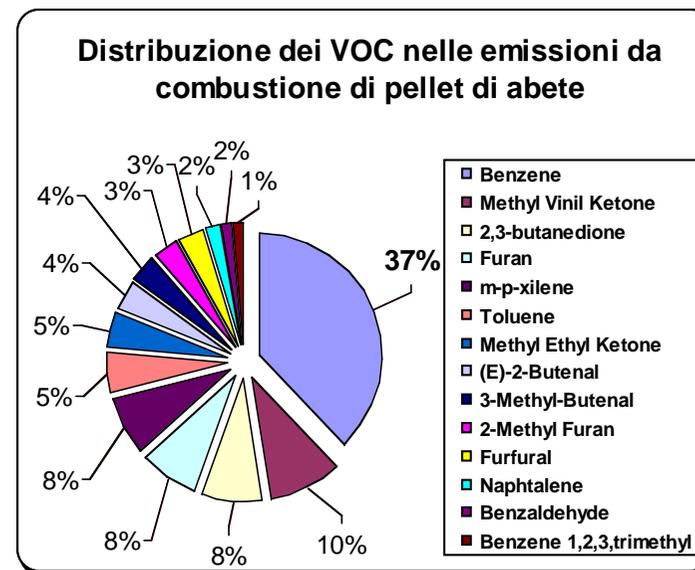


Dati di letteratura riportano **emissioni basse** di COV
 con relativa abbondanza di benzene

US EPA Emission Factors
 AP-42, Vol. I, CH1.10: Residential Wood Stoves

Compounds	Wood Stove Type Emission Factor (lb/ton)	
	Conventional (SCC 21-04-008-051)	Catalytic (SCC 21-04-008-030)
Ethane	1.470	1.376
Ethylene	4.490	3.482
Acetylene	1.124	0.564
Propane	0.358	0.158
Propene	1.244	0.734
i-Butane	0.028	0.010
n-Butane	0.056	0.014
Butenes ^c	1.192	0.714
Pentenes ^d	0.616	0.150
Benzene	1.938	1.464
Toluene	0.730	0.520
Furan	0.342	0.124
Methyl Ethyl Ketone	0.290	0.062
2-Methyl Furan	0.656	0.084
2,5-Dimethyl Furan	0.162	0.002
Furfural	0.486	0.146
o-Xylene	0.202	0.186

Dati LENS su pellet



Stufe con catalizzatori specifici
 possono abbattere benzene
 e COV



FSE (Fondo Sociale Europeo)

PROGETTO S.H.A.R.M. (Supporting Human Assets in Research and Mobility)

– “ASSEGNI DI RICERCA IN COLLABORAZIONE CON IMPRESE” –

“Combustione domestica sostenibile di biomasse di provenienza regionale (Friuli Venezia Giulia)”

Dr. Sabina Licen

1 marzo 2013 – 28 febbraio 2014



Test su tre tipi biomassa ritraibile rappresentativi per la regione FVG



latifoglie
(prevalentemente
Robinia pseudoacacia - acacia)



Q = 17.7 MJ/kg
Ceneri = 2.4 %



sarmenti di vite



Q = 17.6 MJ/kg
Ceneri = 3.4 %



conifere
(prevalentemente
Picea abies - abete rosso)



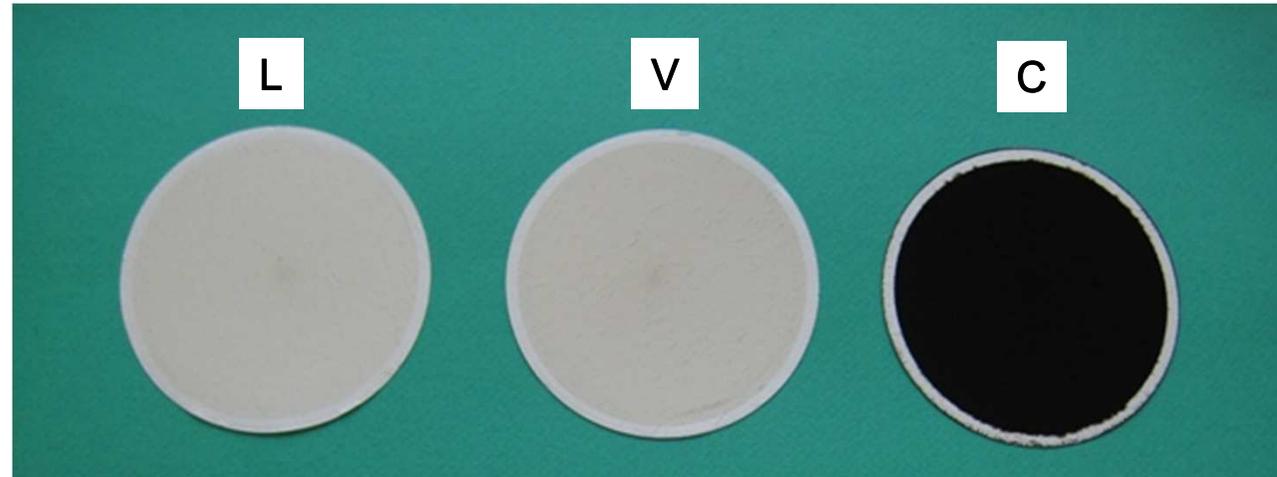
Q = 18.3 MJ/kg
Ceneri = 1.3 %

MISURE a CAMINO

Risultati di 4 test di combustione da 1h in stufa domestica da 9 kW, con un consumo medio di pellet di 2.2 kg/h.

Specie legnosa		Tfumi (°C)	O₂ (%)	CO₂ (%)	CO (mg/Nm³)	NOx (mg/Nm³)	OGC (mg/Nm³)	Benzene (ug/Nm³)
Latifoglie	Media (Dev.st.)	171.3 (3.4)	12.2 (0.2)	8.3 (0.2)	270.1 (73.5)	315.0 (19.2)	4.45 (0.5)	2.1 (0.03)
Vite	Media (Dev.st.)	157.2 (4.8)	10.4 (0.2)	10.0 (0.2)	2764.9 (683.6)	290.3 (14.6)	59.4 (10.2)	58.1 (35.4)
Conifere	Media (Dev.st.)	181.4 (1.7)	11.1 (0.1)	9.3 (0.1)	1919.0 (106.7)	115.8 (4.9)	470.3 (111.6)	626.1 (60.8)

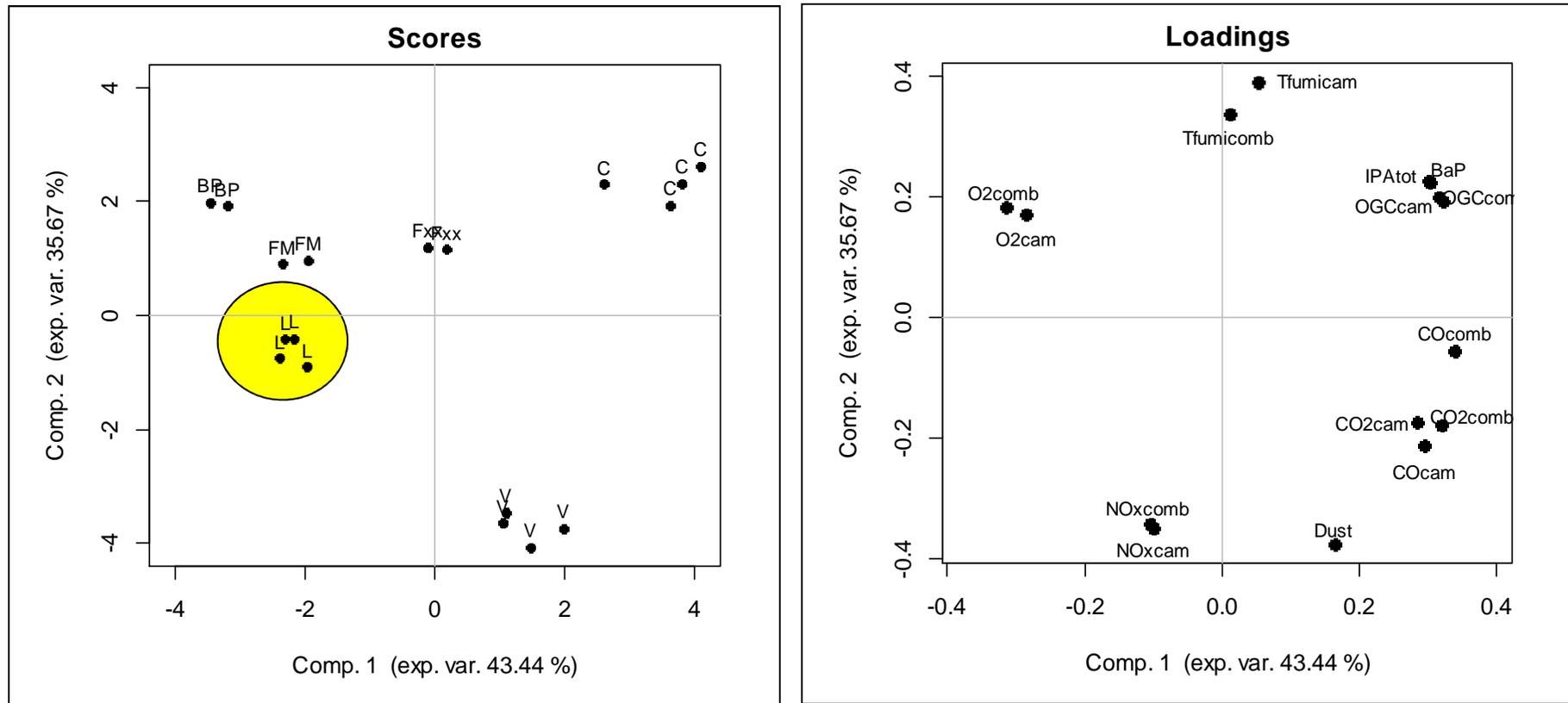
PARTICOLATO



		L	V	C
Particolato totale (mg/Nm ³)	Media (Dev.st.)	8.7 (1.0)	32.8 (2.1)	9.6 (0.4)
IPA totali (ng/Nm ³)	Media (Dev.st.)	88.4 (26.4)	639.9 (236.4)	16451.8 (1223.5)
Benzo[a]pirene (ng/Nm ³)	Media (Dev.st.)	2.3 (1.8)	41.3 (16.6)	820.8 (62.9)
Levoglucoano (ug/Nm ³)	Media (Dev.st.)	41.6 (15.4)	26.6 (8.6)	22.7 (7.9)

CONFRONTO CON PELLETT COMMERCIALI

PCA (Principal Component Analysis)



BP, FM e Fxx sono pellet commerciali

Evoluzione tecnologica

Table 1 Typical PM emission factors for various appliance types for wood combustion indicated as solid particles sampled on hot filters (not including condensable organic compounds) in real-life operation today (left), and achievable best-practice PM emission levels under ideal conditions (right).

*only if operated at full load, which cannot be guaranteed for space heating.

Appliance type	Typical PM emission factors today [mg/MJ]	Achievable PM emission levels [mg/MJ]
Open fireplaces	50 to > 1 000	50 – 100
Wood stoves & closed inset appliances	20 to > 1 000	15 – 25
Log wood boilers without heat storage tank	20* to > 1 000	not recommended
Log wood boilers (with heat storage tank)	20 to > 100	10 – 20
Pellet stoves & boilers	10 – 50	10 – 20
Automatic wood combustion plants ... with cyclone	50 – 300	50 – 100
... with simple ESP	25 – 50	15 – 35
... with advanced ESP	5 – 15	5 – 15
... with fabric filter	< 5	< 5

Ns dati (DT) stufe a legna 40-120 mg/MJ; a pellet 15-45 f(pellet); In miglioramento...

Ricordiamo che le concentrazioni ambientali di inquinanti prodotti dalla combustione di biomasse sono determinate da **molti fattori con variabilità molto ampie**, per cui è rilevante una **valutazione delle evidenze** di presenza di marker di combustione anche nelle immissioni (nell'aerosol a cui è esposta la popolazione che la norma vuole tutelare)

