

28 Febbraio 2024 – CAMPOBASSO

Giornata Studio sulle Emissioni. Dalle Emissioni alle Immissioni:
una Giornata Studio per comprendere il problema

Emissioni di polveri aerodisperse da impianti di incenerimento: l'esperienza dell'Università di Cassino

Luca Stabile

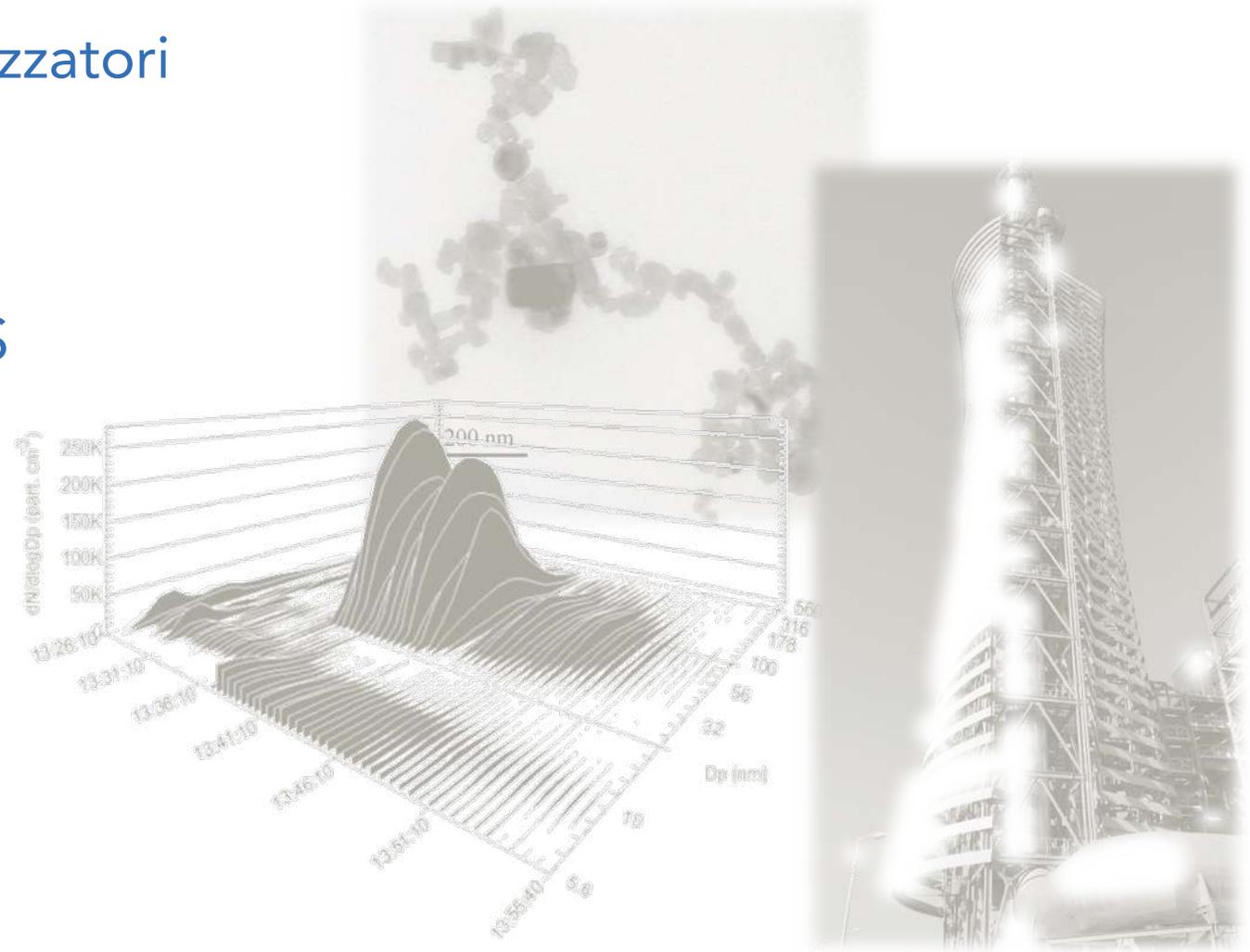
Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica
Università di Cassino e del Lazio Meridionale



Dipartimento di Ingegneria
Civile e Meccanica
UNIVERSITÀ DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE

Sommario

- Gestione dei rifiuti & Termovalorizzatori
- Polveri aerodisperse
- Obiettivo della ricerca di UNICAS
- Risultati
- Conclusioni



La gestione dei rifiuti

La gerarchia nella gestione dei rifiuti

- La Direttiva Europea del 1975 (75/442/EEC) ha introdotto per la prima volta il concetto di gerarchia nel trattamento dei rifiuti.
- Nel 2008 il Parlamento Europeo ha definito la **“new five-step waste hierarchy”**

(Direttiva 2008/98/EC).

Raccolta differenziata:

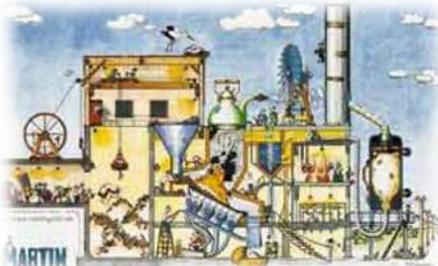
- ▣ qualità
- ▣ quantità



Waste hierarchy



Termovalorizzazione



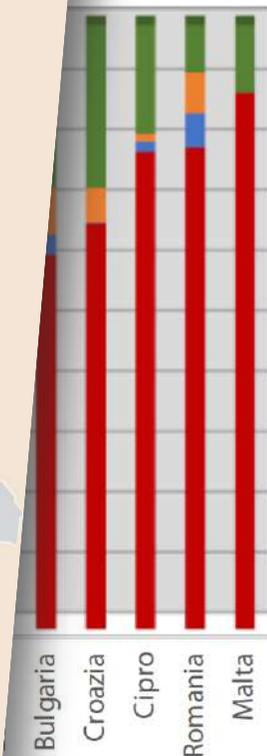
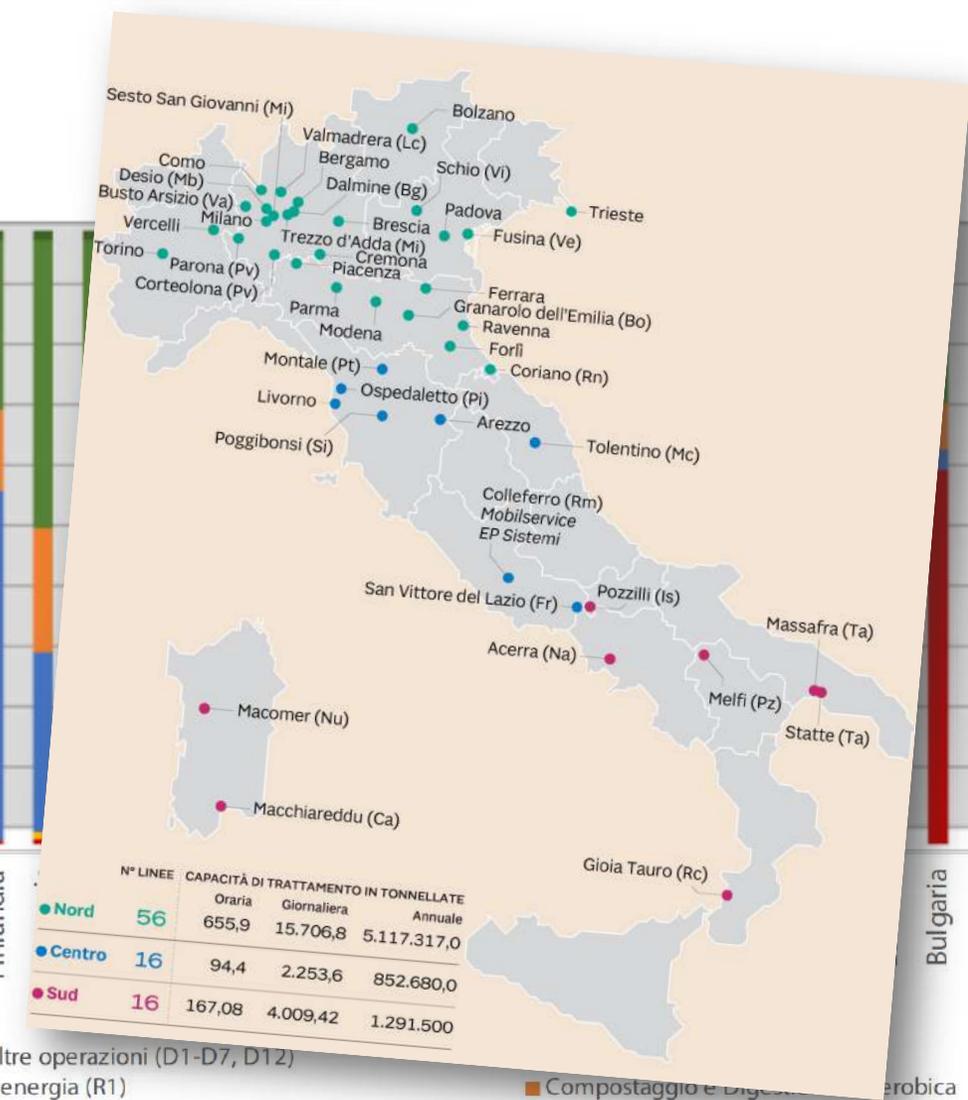
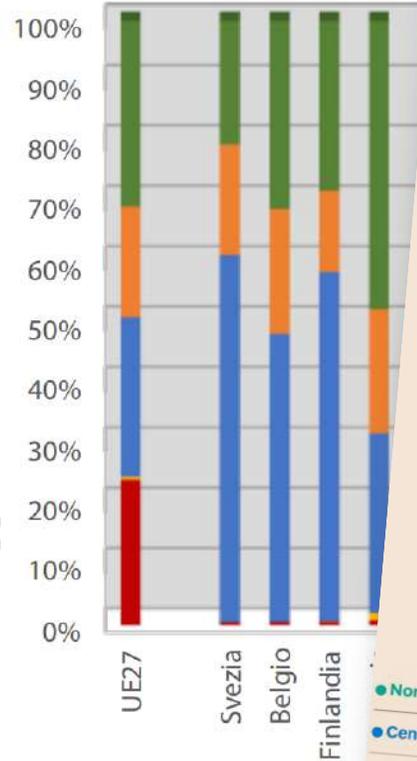
Discarica



La gestione dei rifiuti

La gestione dei rifiuti urbani in Italia

- Produzione pro-capite = 502 kg/abitante
 - **Termovalorizzazione = 21%**
 - Conferimento in **discarica** = 22%
 - Compostaggio/digestione = 26%
 - Riciclo di materia = 30%
-
- **Raccolta differenziata = 64%**
 - Percentuale effettiva di **Riciclo = 50%**
-
- 37 impianti
 - 6.4 milioni di tonnellate di rifiuti elaborati



■ Discarica e altre operazioni (D1-D7, D12)
■ Recupero di energia (R1)
■ Compostaggio e Digestione Aerobica
■ Riciclo di materia

La termovalorizzazione

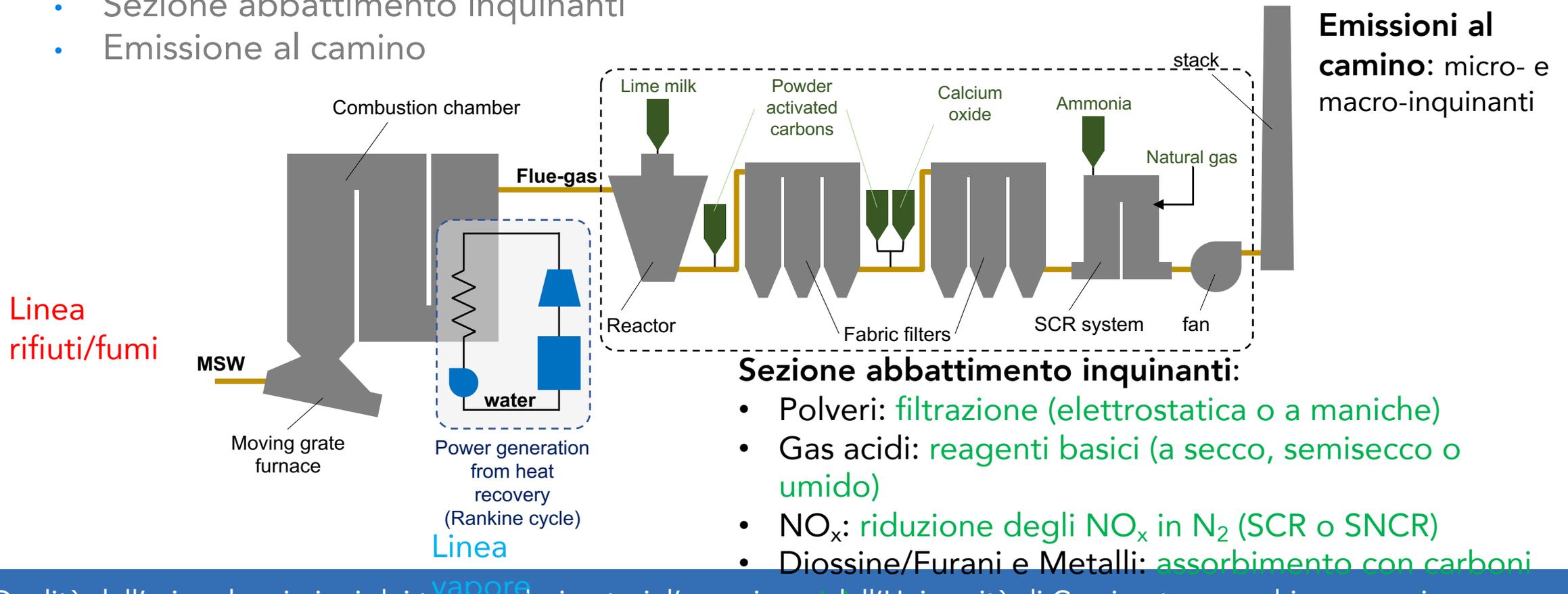
Funzionamento dei termovalorizzatori

• Linea rifiuti/fumi

- Caldaia – combustione rifiuti
- Sezione abbattimento inquinanti
- Emissione al camino

• Linea vapore

- Ciclo Rankine (produzione energia)



Qualità dell'aria ed emissioni dei termovalorizzatori: l'esperienza dell'Università di Cassino tra «vecchi» e «nuovi» inquinanti

La termovalorizzazione

Normativa e contenimento delle emissioni

- Normativa su limiti emissivi più stringente rispetto ad altri impianti (Direttiva 2010/75/UE e BAT 2019)
- Costo del sistema di abbattimento fumi circa 30% del totale
- Emissioni molto inferiori ai limiti normativi se costruiti secondo le BATs (**best available technologies**)

inquinante	Limite di legge	Utilizzando BATs
HCl	10 mg/Nm ³	<0.5 mg/Nm ³
NOx	200 mg/Nm ³	<50 mg/Nm ³
SO2	50 mg/Nm ³	<0.01 mg/Nm ³
HF	1 mg/Nm ³	<0.1 mg/Nm ³
...
polveri totali (particolato)	10 mg/Nm³	<0.1 mg/Nm³

- **Polveri ultrafini?**

Perché le polveri aerodisperse?

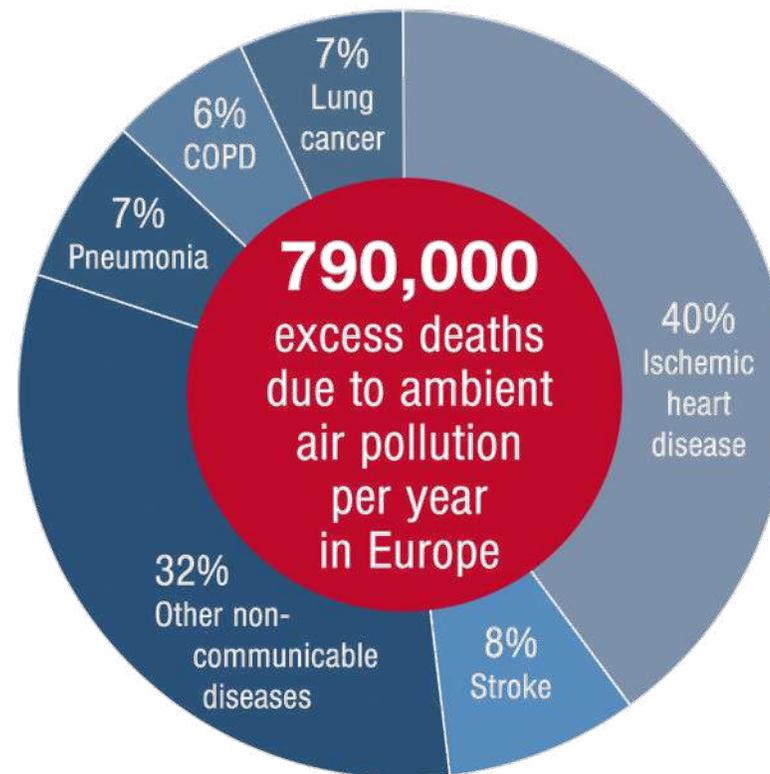
Impatto sulla salute

- Tra i principali responsabili per morti legate alla qualità dell'aria in Europa
- Cancerogeno Gruppo 1 dal 2013

PRESS RELEASE N°221 - 17 October 2013

Lyon/Geneva, 17 October 2013 – The specialized cancer agency of the World Health Organization, the International Agency for Research on Cancer (IARC), announced today that it has classified outdoor air pollution as carcinogenic to humans (Group 1).

Particulate matter, a major component of outdoor air pollution, **was evaluated separately and was also classified as carcinogenic to humans (Group 1)**. The IARC evaluation showed an increasing risk of **lung cancer** with increasing levels of exposure to particulate



Definizione e classificazione

Aerosol atmosferico

sospensione metastabile di particelle solide o liquide in un gas (e.g. aria).

Classificazione

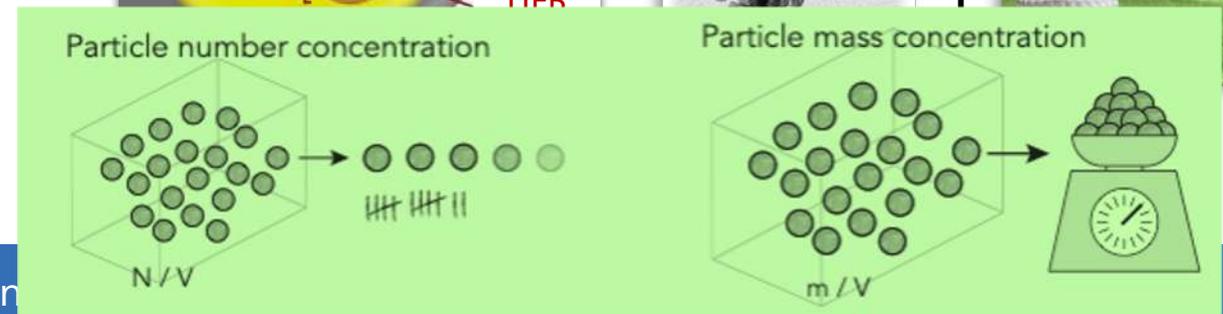
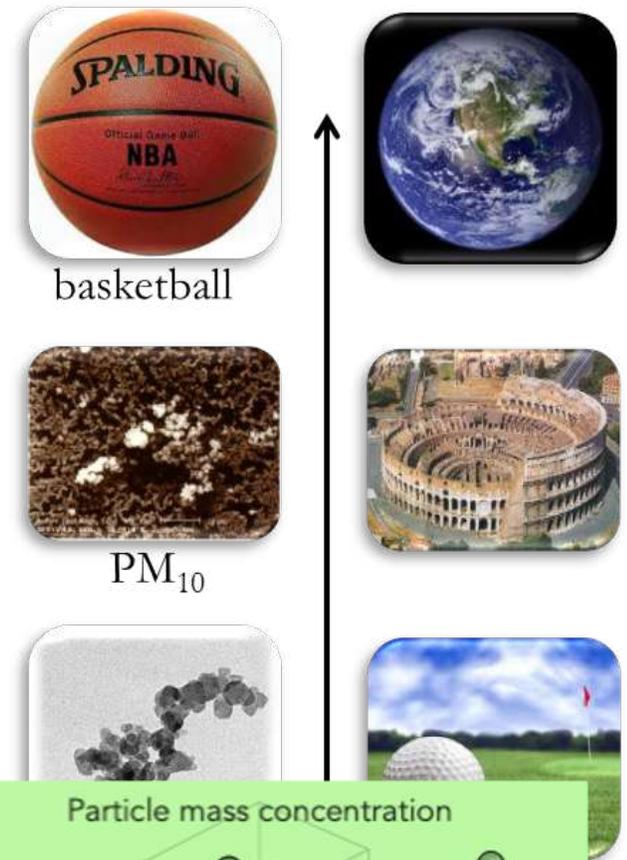
- TSP frazione in massa di polveri totali
- PM_{10} frazione in massa di polveri con $D_{eq} < 10 \mu m$
- Polveri fini ($PM_{2.5}$) frazione in massa di polveri con $D_{eq} < 2.5 \mu m$
- Polveri ultrafini (UFPs) $D_{eq} < 0.1 \mu m$ (100 nm)
- Nanoparticelle $D_{eq} < 0.050 \mu m$ (50 nm)

Origine e sorgenti

- Combustione vs. generazione meccanica
- Naturale vs. antropica; primario vs. secondario

Metriche dell'aerosol e approcci di misura

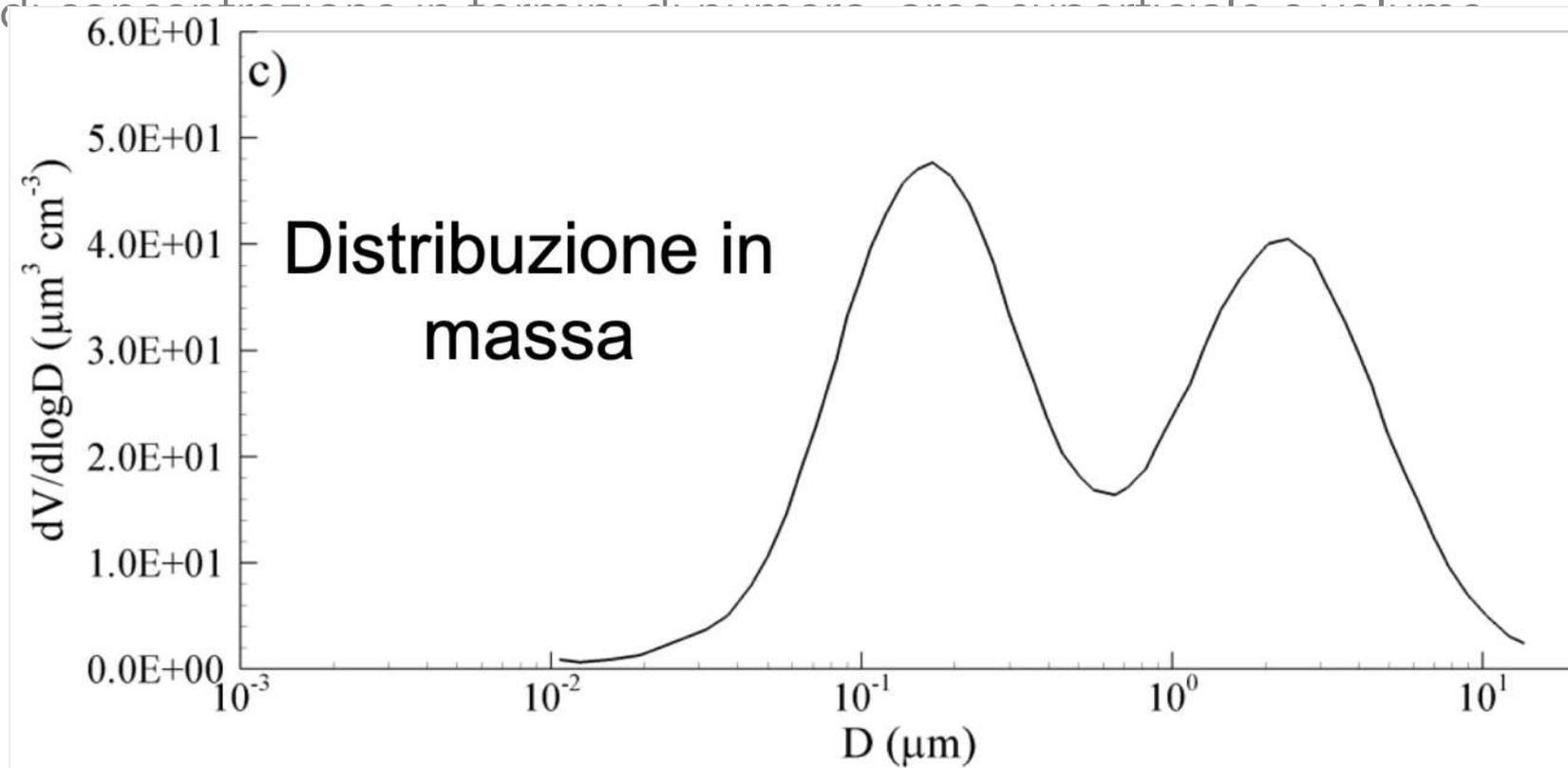
- Numero e area superficiale vs. Massa



Definizione e classificazione

Distribuzioni dimensionali

- Particelle aerodisperse comprese in un **intervallo dimensionale da pochi nanometri a decine di micrometri**
- Distribuzione di particelle in termini di numero, area superficiale e volume



Gli effetti sulla salute

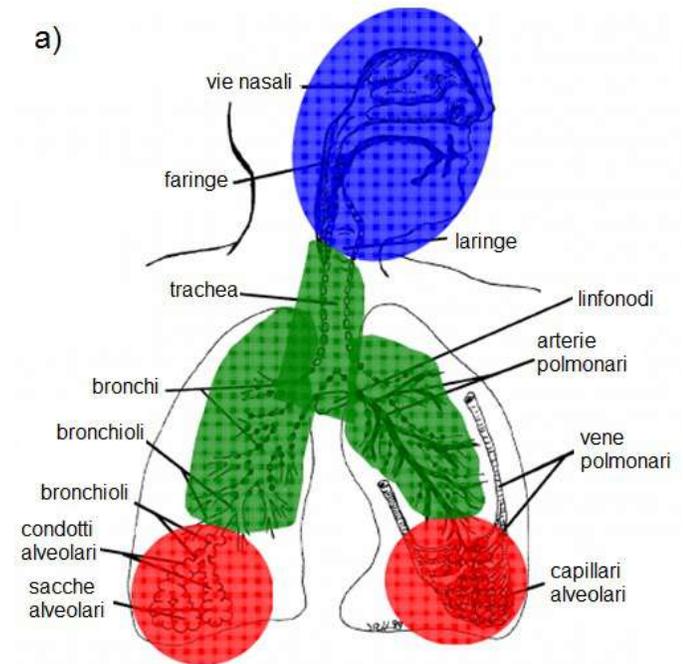
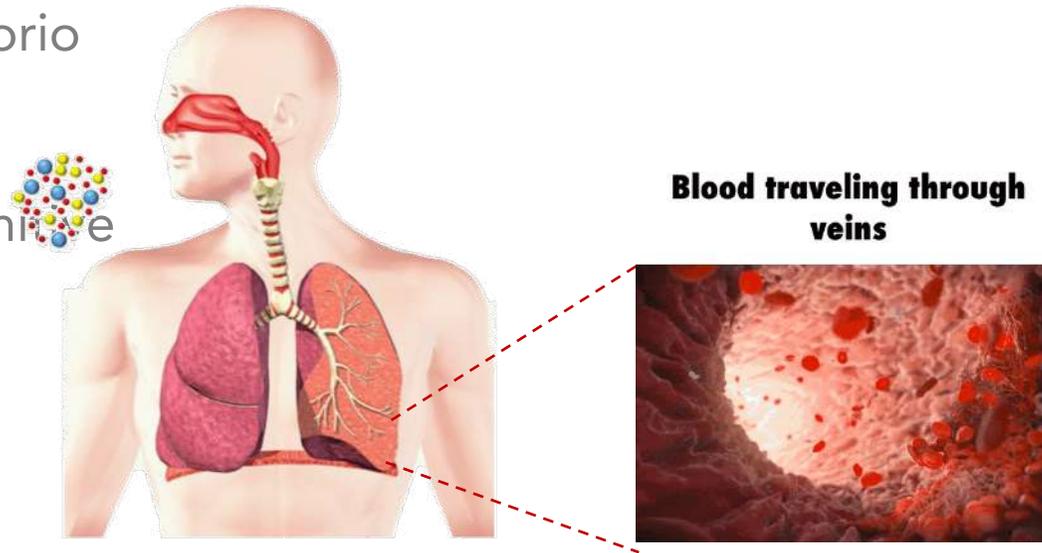
Effetti e metriche

- Diversi studi epidemiologici hanno dimostrato effetti negativi sulla salute umana (problemi cardiovascolari e respiratori...) dovuti ad un'elevata esposizione alle polveri.
- Quale **proprietà o taglia dimensionale** delle particelle è maggiormente responsabile degli effetti negativi sulla salute umana? (PM₁₀, PM_{2.5}, Ultrafini, Area superficiale, Tasso di assunzione, soot)

Deposizione nell'apparato respiratorio e traslocazione verso altri organi

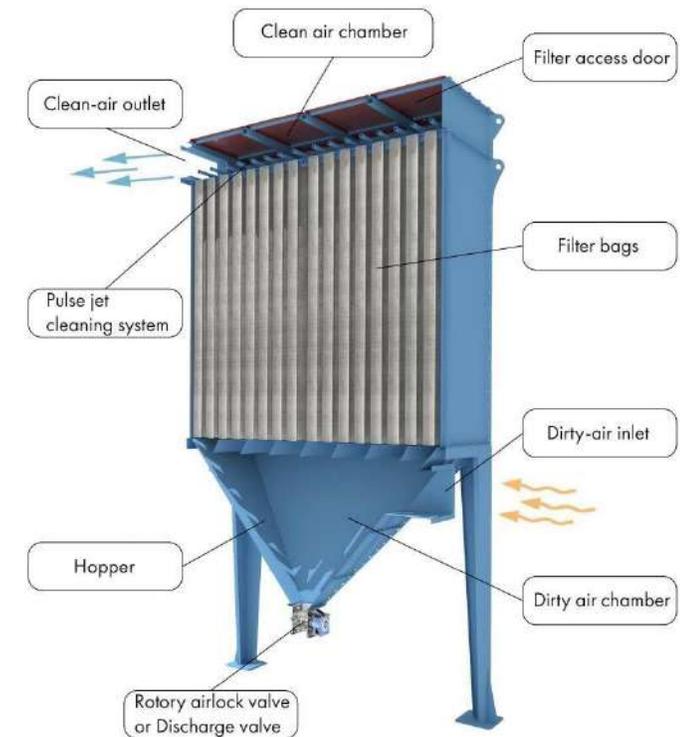
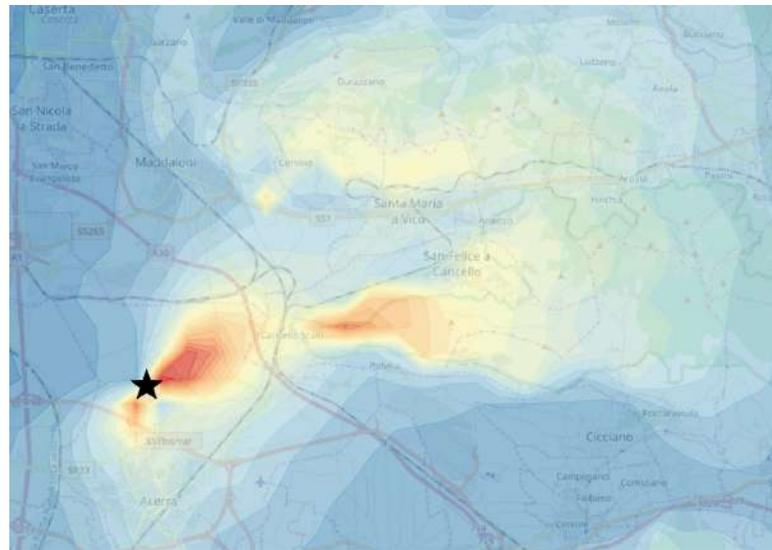
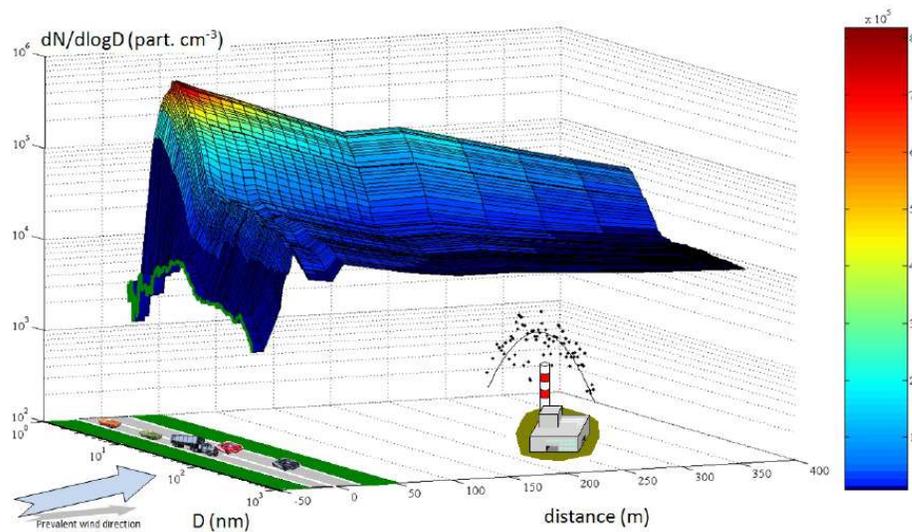
Polmoni come port of entry...

- Effetti apparato respiratorio
- Lung cancer
- Effetti cardiovascolari
- Effetti sulle funzioni cognitive



Obiettivi della ricerca di UNICAS

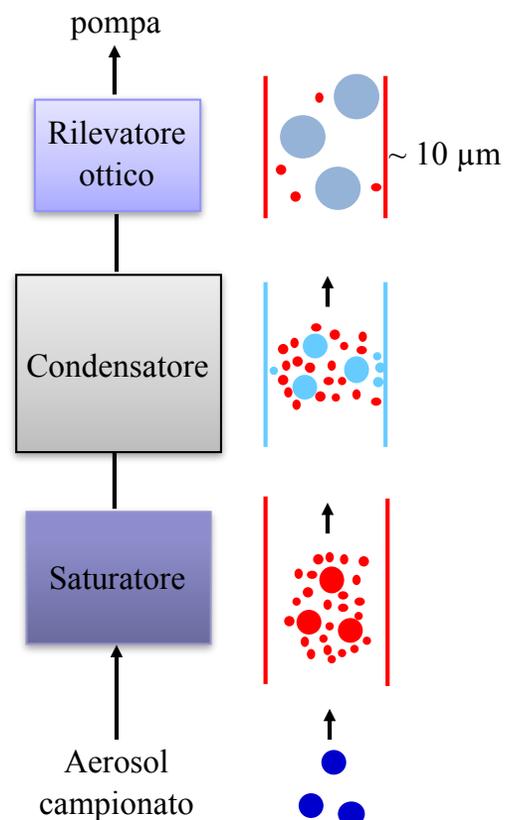
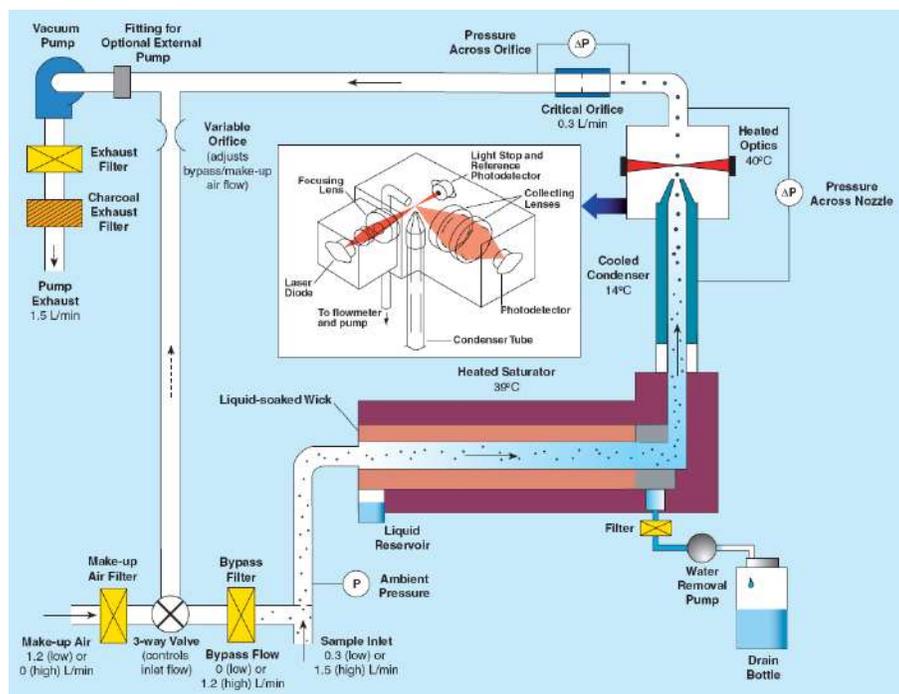
- L'inceneritore come sorgente di polveri sub-micrometriche
- Misura di distribuzione e concentrazione totale in numero di particelle in emissione
- Stima dell'efficienza di abbattimento delle UFPs del filtro a maniche
- Ricaduta nelle aree circostanti



Misurare le polveri ultrafini

Concentrazioni e distribuzioni in «numero» di particelle

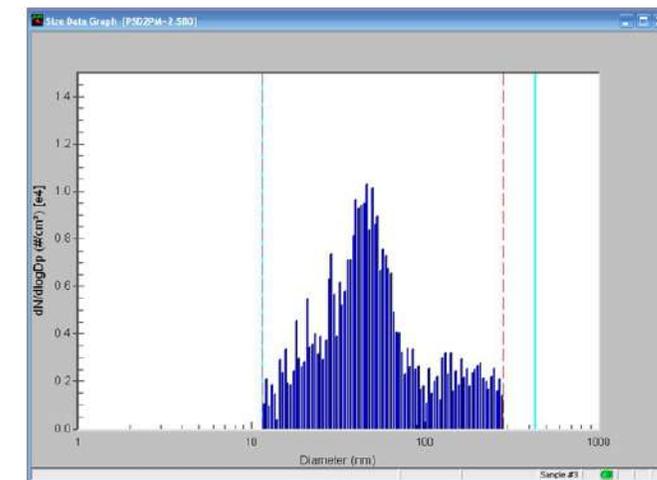
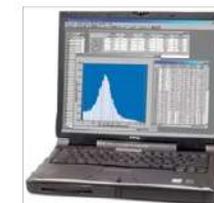
Conteggio delle particelle mediante tecnica di ...distribuzione dimensionale
condensazione



Electrostatic Classifier
EC 3080 TSI



Condensation
Particle Counter
CPC 3775 TSI

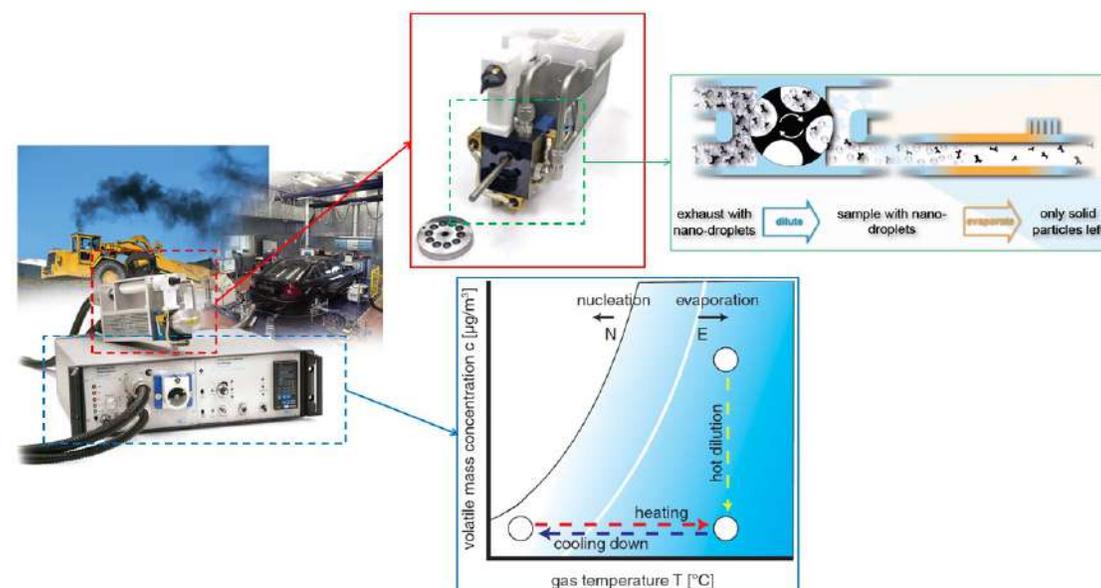
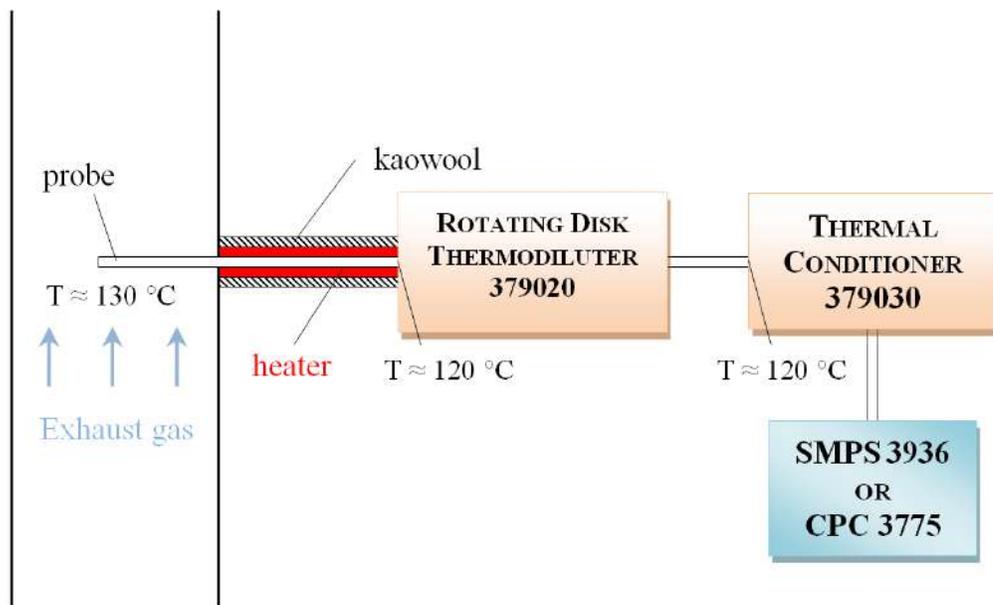


Misurare le polveri ultrafini

Misurare le polveri aerodisperse in emissione

Il problema del campionamento:

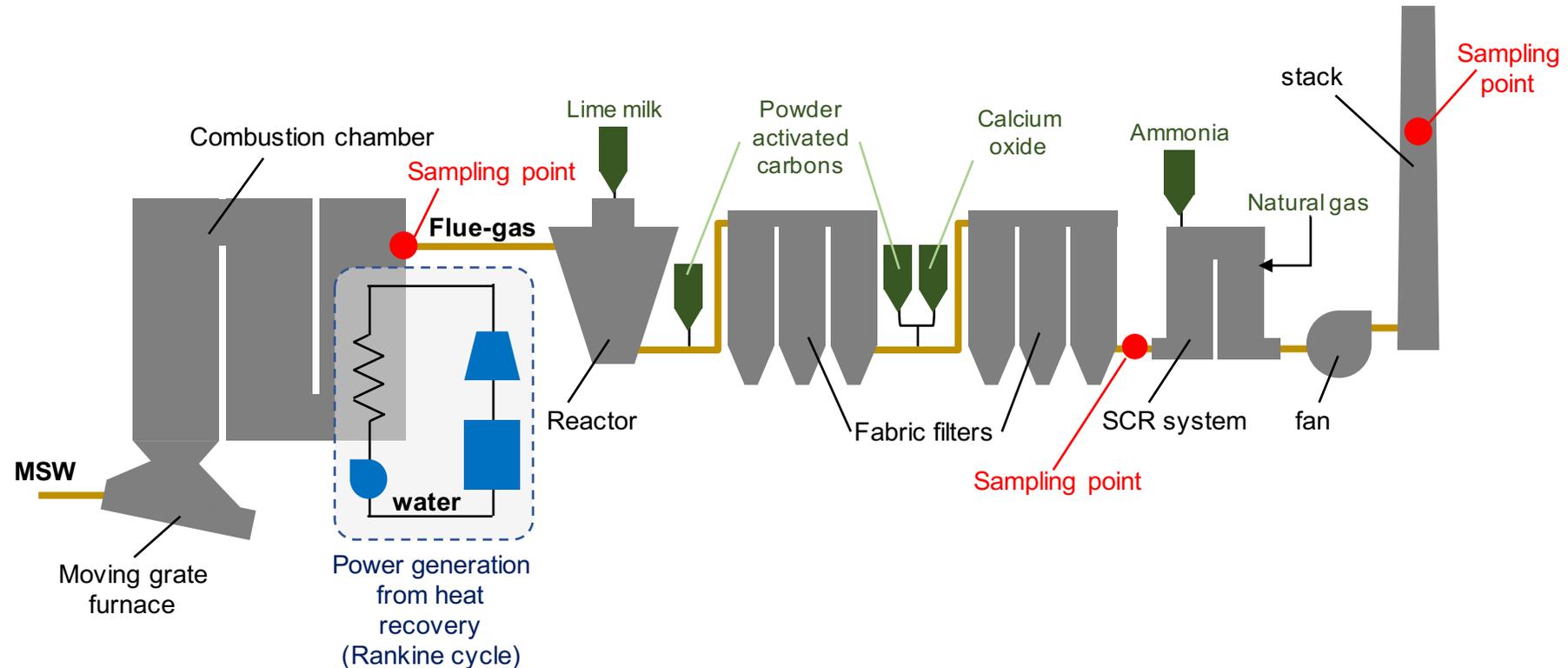
- La termodiluizione
- Linea di campionamento e correzione per diffusione



Emissioni di polveri ultrafini

Campagne sperimentali

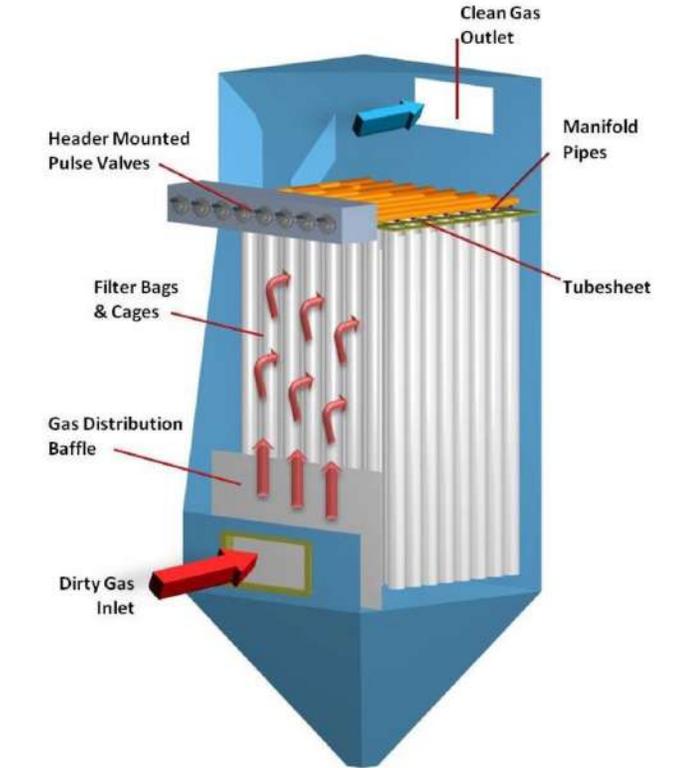
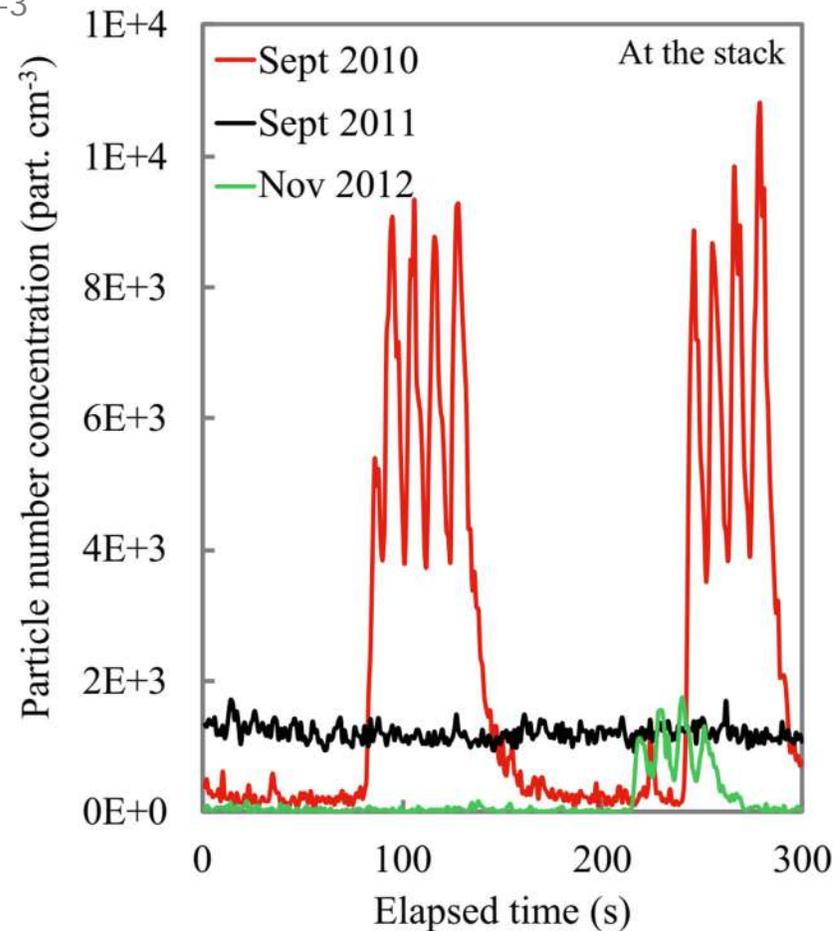
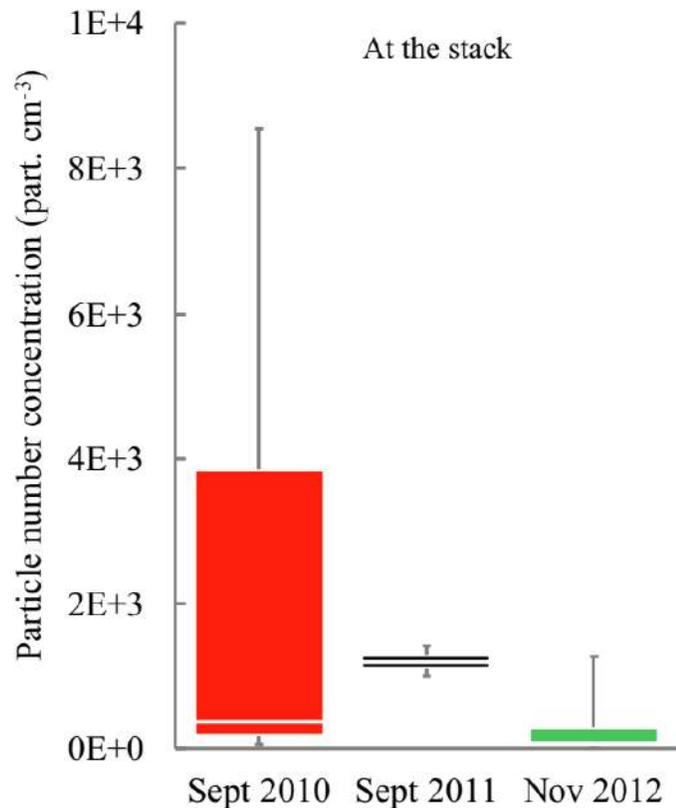
- Diversi impianti
- Diverse linee di trattamento fumi
- Misura al camino e a monte del sistema di filtrazione



Risultati

Emissione

concentrazioni $\ll 1 \times 10^4$ part. cm^{-3}



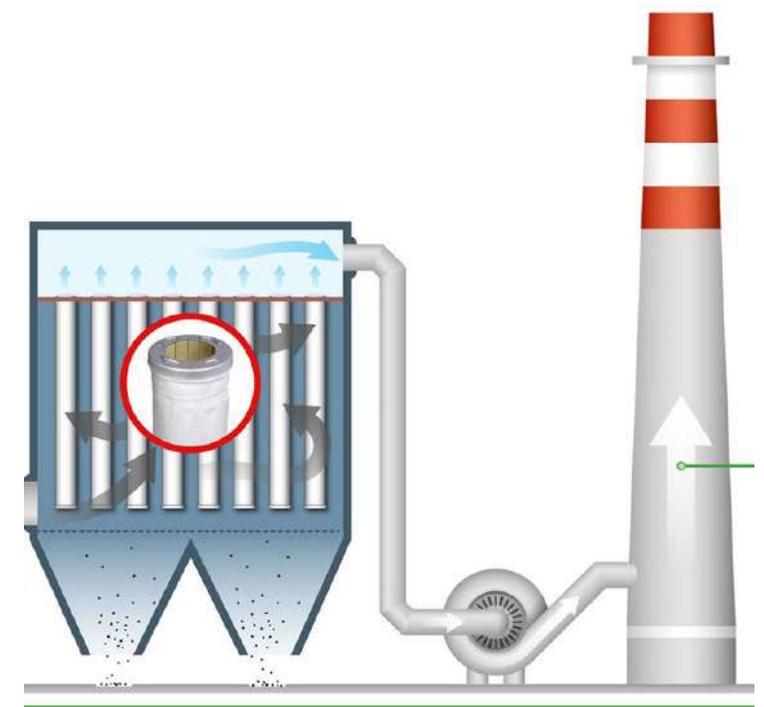
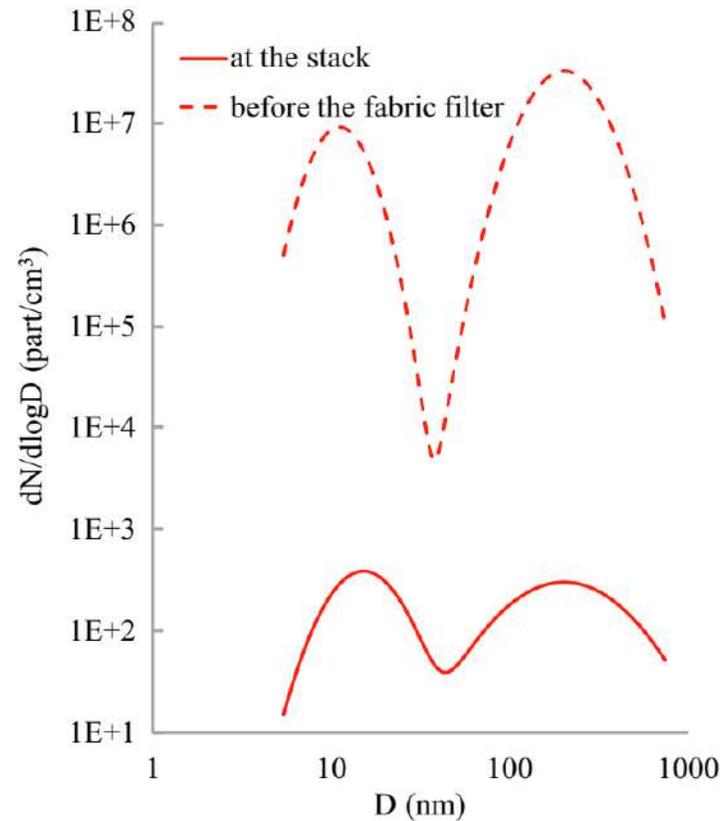
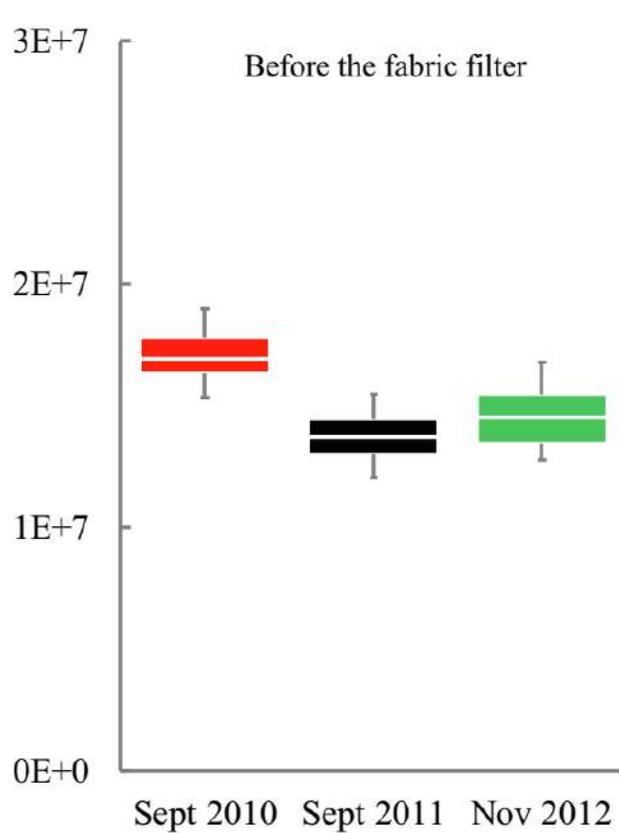
Pulse jet bag filter

Plant equipped with Electrostatic filters: 3.0×10^5 part.

Risultati

Misure a monte del sistema di filtrazione

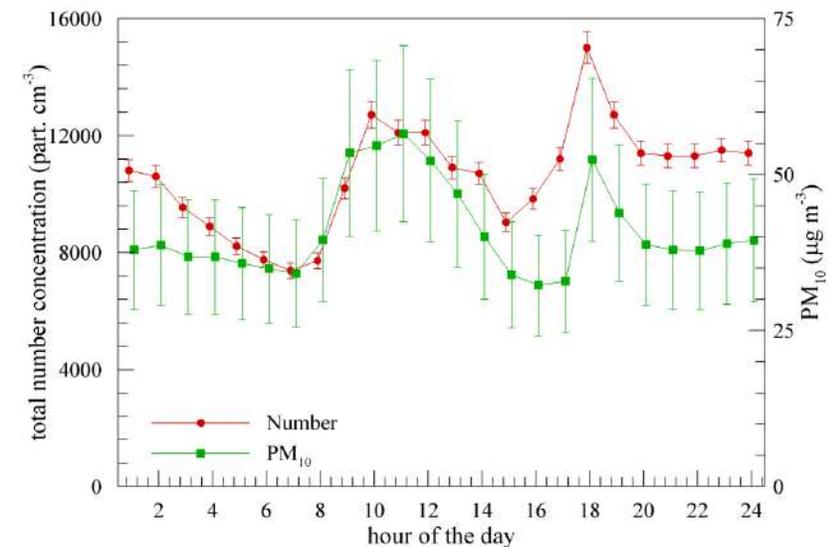
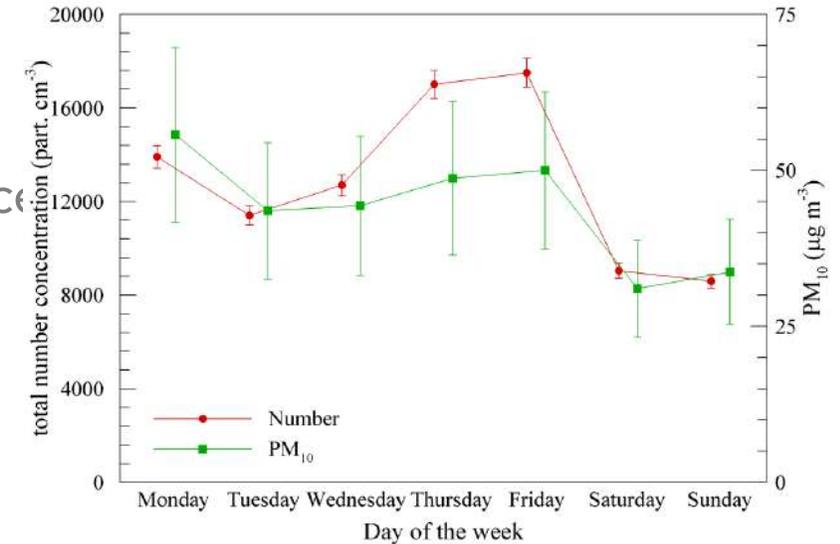
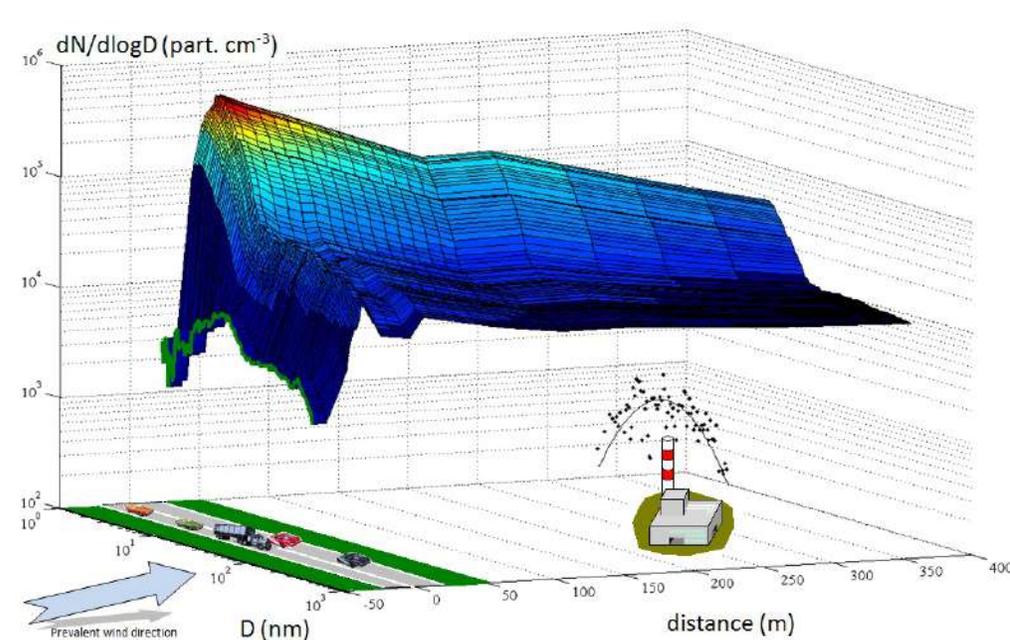
- Efficienza filtro a maniche per UFPs > 99.99%;



Ricaduta in ambiente

Termovalorizzatore vs. traffico veicolare

- Campagne sperimentali in prossimità di diversi impianti
- Contributo del traffico preponderante sull'esposizione in siti rec



Analisi elementare polveri emesse

Concentrazione dei metalli

Metodologia

- Nanometer aerosol sampler (50-200 nm)
- Instrumental Neutron Activation Analysis (Avino et al.)



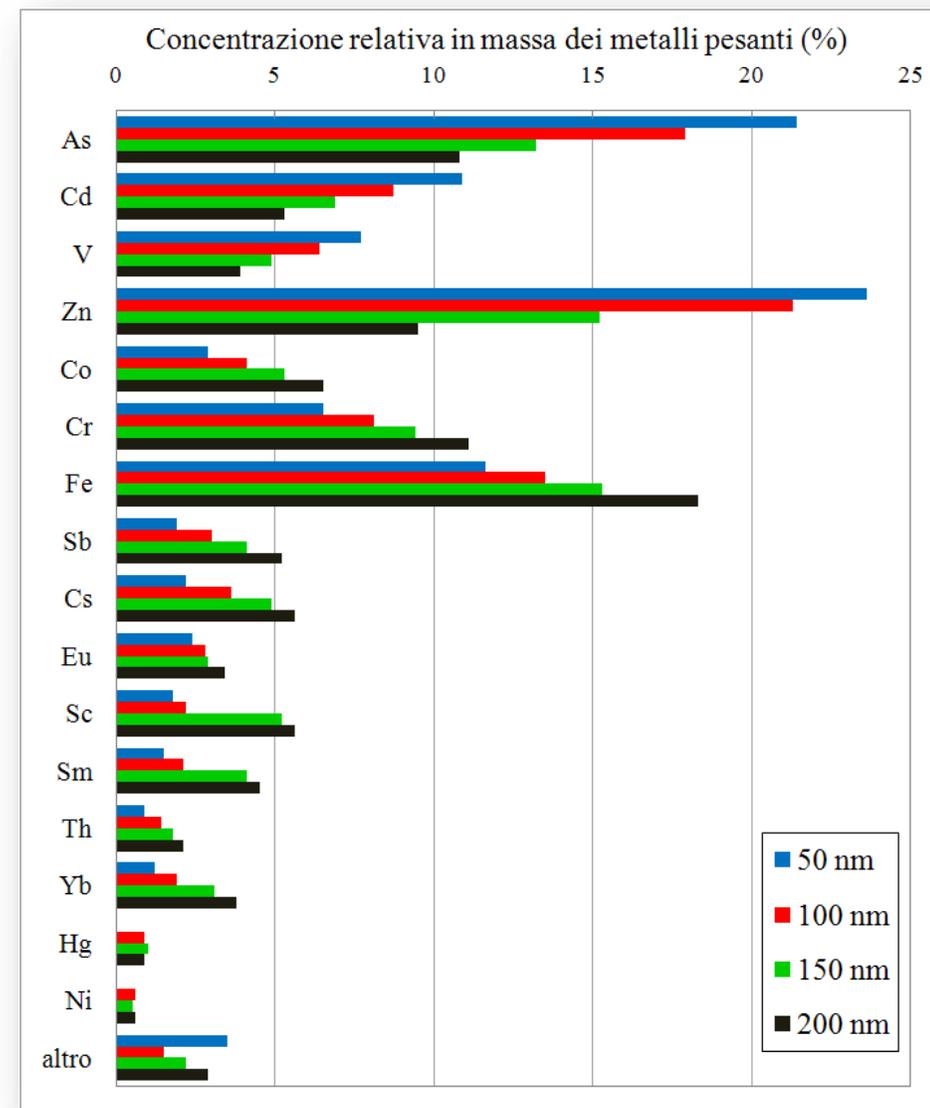
Nanometer Aerosol Sampler 3089 TSI

Risultati

- il contributo relativo di As, Cd, V e Zn sulla concentrazione in massa totale dei metalli diminuisce all'aumentare del diametro delle particelle *punto di ebollizione <1200 °C (ad eccezione del V)*
- il contributo relativo di Co, Cr, Fe, Sb, Cs, Sc, Sm, Th, Eu e Yb sulla concentrazione in massa totale dei metalli aumenta con il diametro delle particelle *punto di ebollizione >1200 °C (ad eccezione del Cs)*

Una possibile spiegazione:

- elementi con un basso punto di ebollizione evaporano completamente, formano ossidi di metalli che enucleano particelle ex novo



Conclusioni

Take-home messages:

- la concentrazione di UFPs in emissione da inceneritori è $<1 \times 10^4$ part. cm^{-3} ;
- Le concentrazioni in **emissione da termovalorizzatori** sono trascurabili per effetto della **filtrazione**;
- L'esposizione alle polveri ultrafini in **outdoor** è fortemente influenzata dal **traffico veicolare**.

Grazie per l'attenzione...