

Strumenti modellistici per il calcolo della deposizione degli inquinanti atmosferici sul patrimonio monumentale

G. Zanini, M. Berico, F. Monforti,
ENEA Bologna – Sezione PROT-INN

*Effetti dell'inquinamento atmosferico sui beni
di interesse storico-artistico: le esperienze
Roma 28 Giugno 2006*

Concentrazione – Deposizione

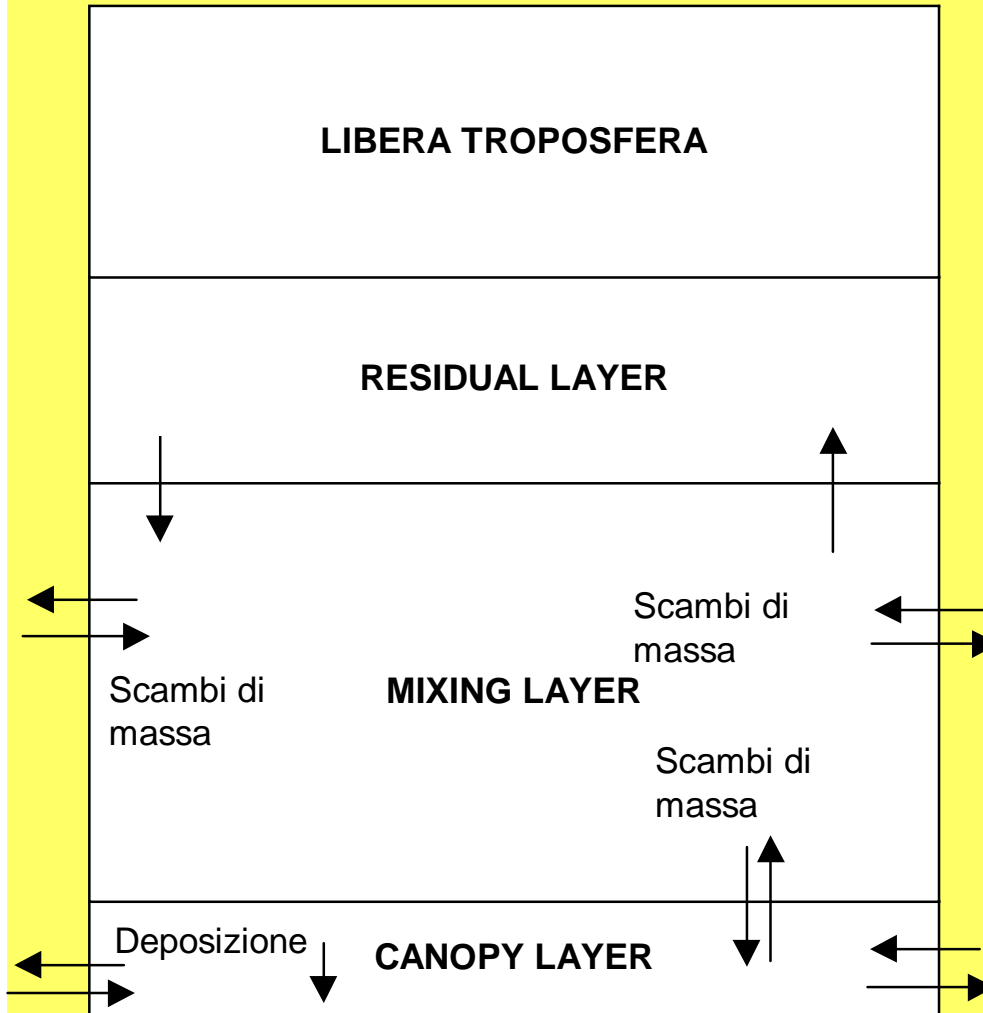
Concentrazione (ppm , ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ecc): esprime la quantità di inquinanti presenti nell'atmosfera.

Deposizione ($\mu\text{g}/\text{m}^2*\text{h}$, ecc ecc): esprime la quantità di inquinanti che si depositano su una superficie nell'unità di tempo.

*Valutazione dei flussi di deposizione del
particolato atmosferico nell'area
monumentale di Firenze*

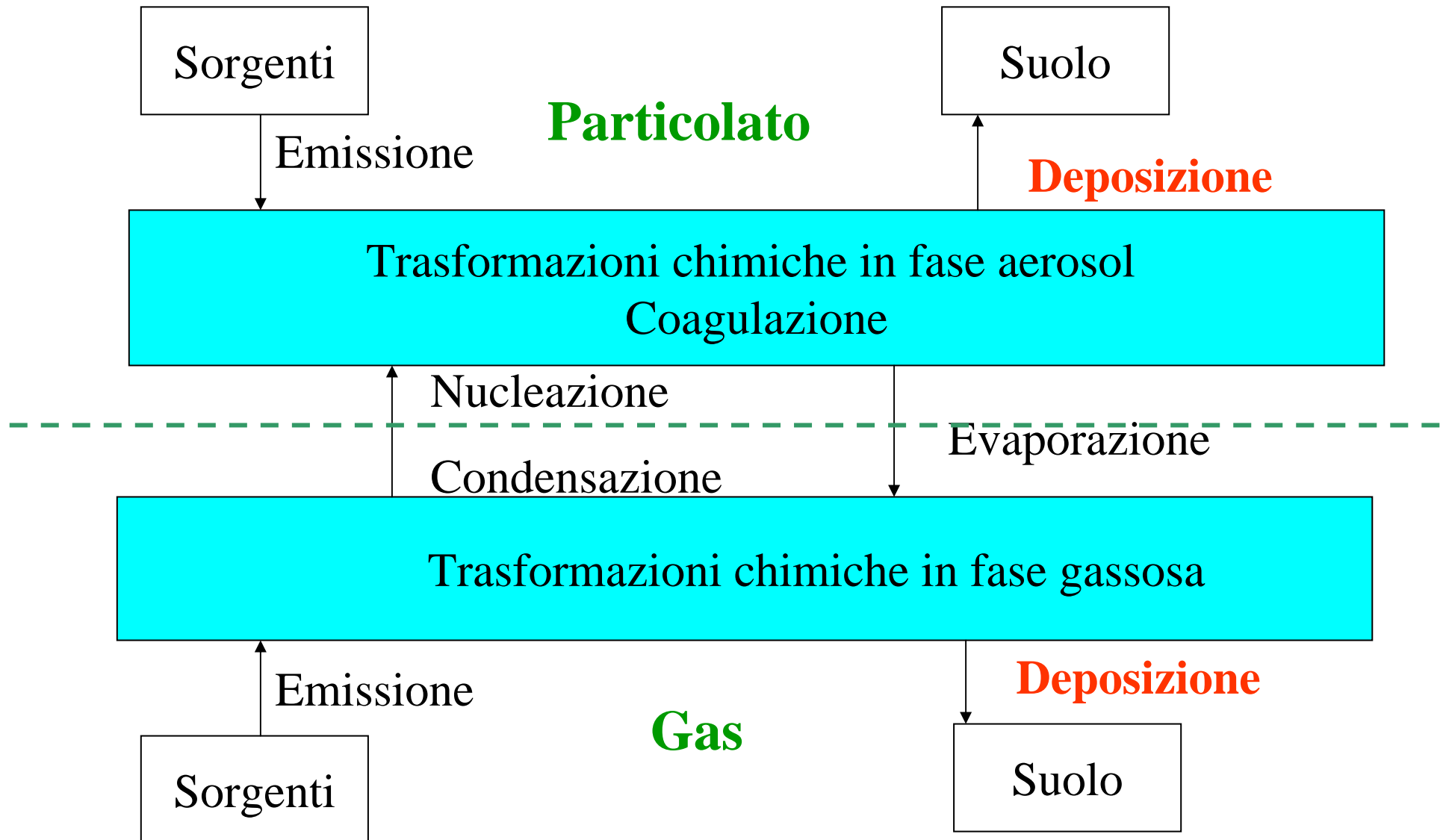
- **Complessità dei processi fisici e chimici relativi al particolato in atmosfera (AERBOX)**

AERBOX- Struttura spaziale e scambi di massa



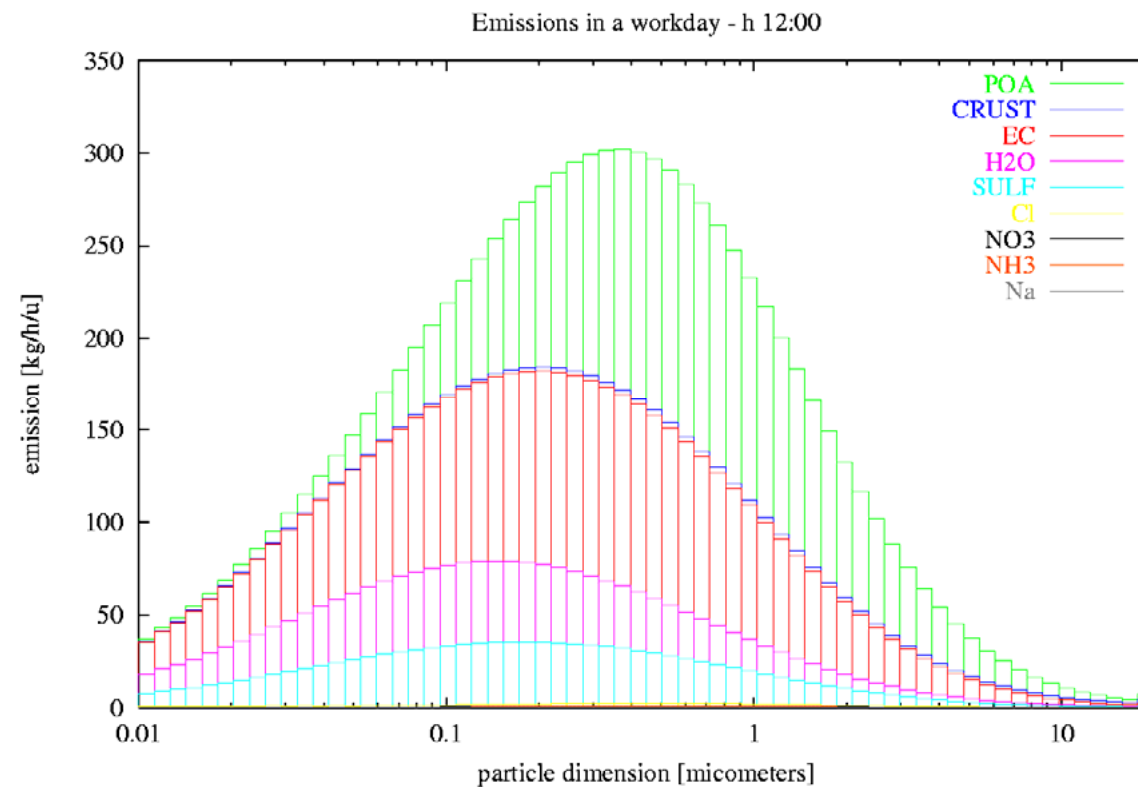
- Modello a box multistrato
- Nessuna risoluzione orizzontale
- Altezza del mixing layer variabile (giorno/notte)
- Altezza canopy layer costante (concentrazioni al suolo)
- Avvezione orizzontale
- Diffusione turbolenta verticale fra strati contigui.
- Entrainment (RL \rightarrow ML)

AERBOX- processi fisici e chimici

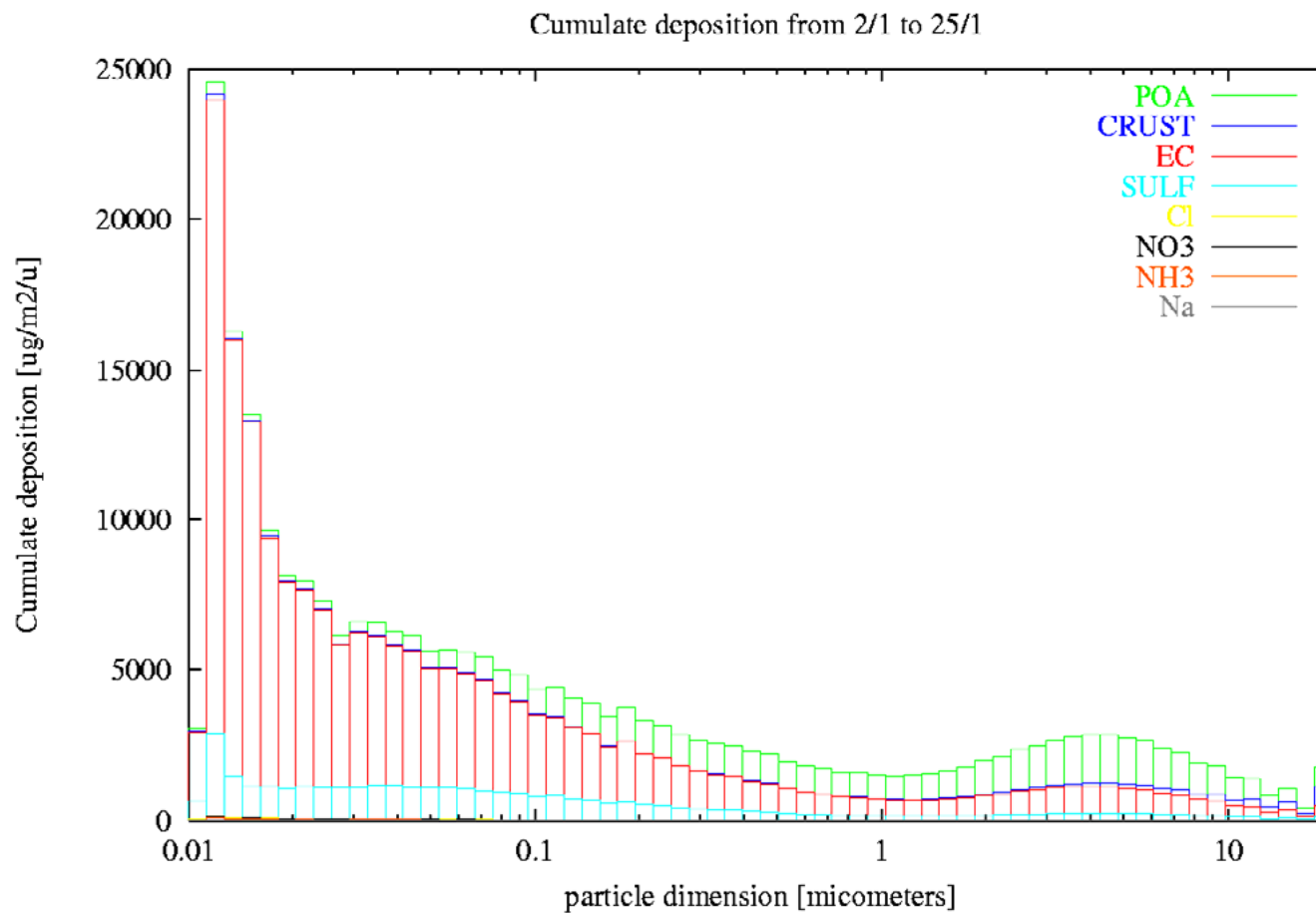


Aerosol – descrizione chimica e granulometrica

- 64 intervalli granulometrici ($0.01 \mu\text{m} \div 18 \mu\text{m}$)
- 14 classi di composti chimici **internally mixed**



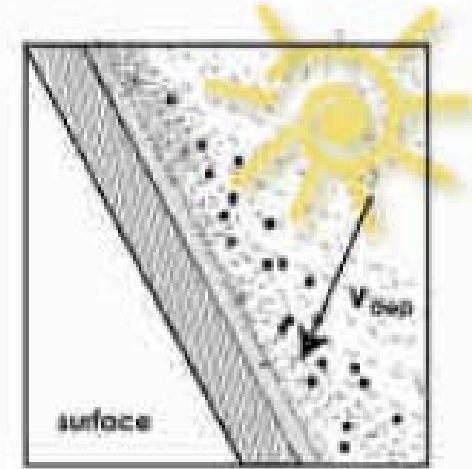
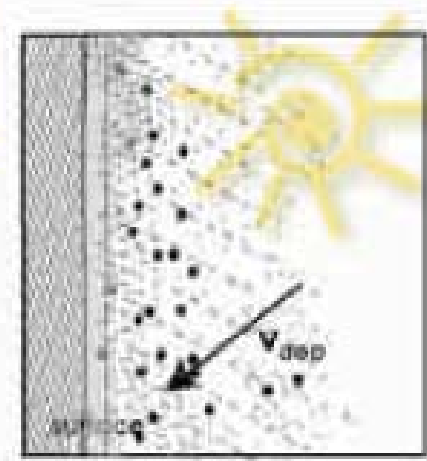
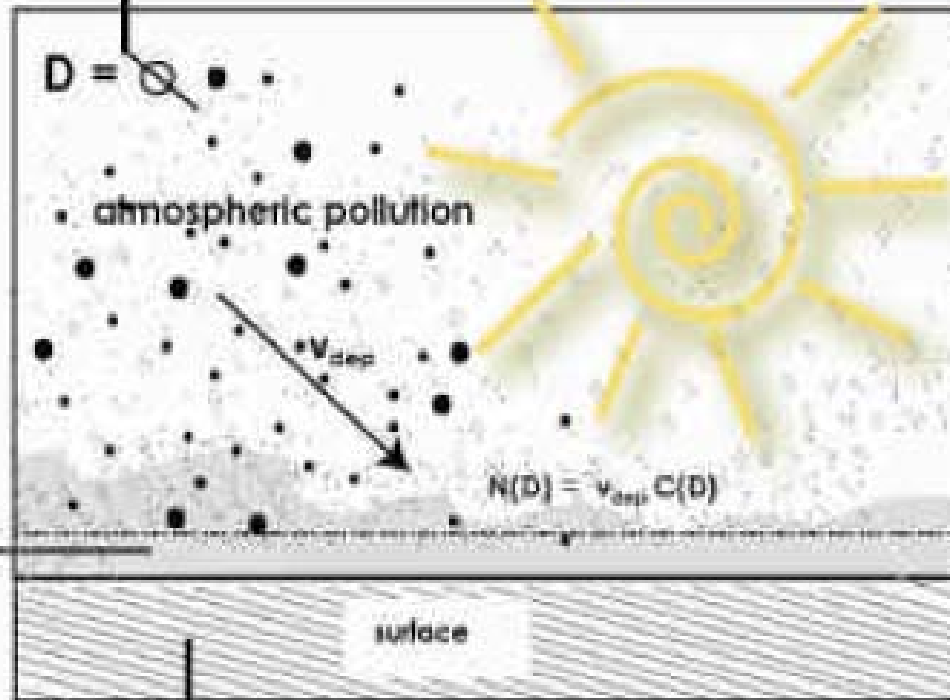
Output – caratterizzazione fisica e chimica del materiale particolato depositato



Meteorological conditions influence directly the different deposition mechanisms.

CLIMATIC PARAMETERS

Relative humidity
Solar radiation
Temperature
Rain
Wind



In the case of the air being still the particle concentration can be considered constant in the boundary layer.

The quantity of deposited material depends on the characteristics of the deposition surfaces

CHARACTERISTICS OF THE DEPOSITION SURFACES

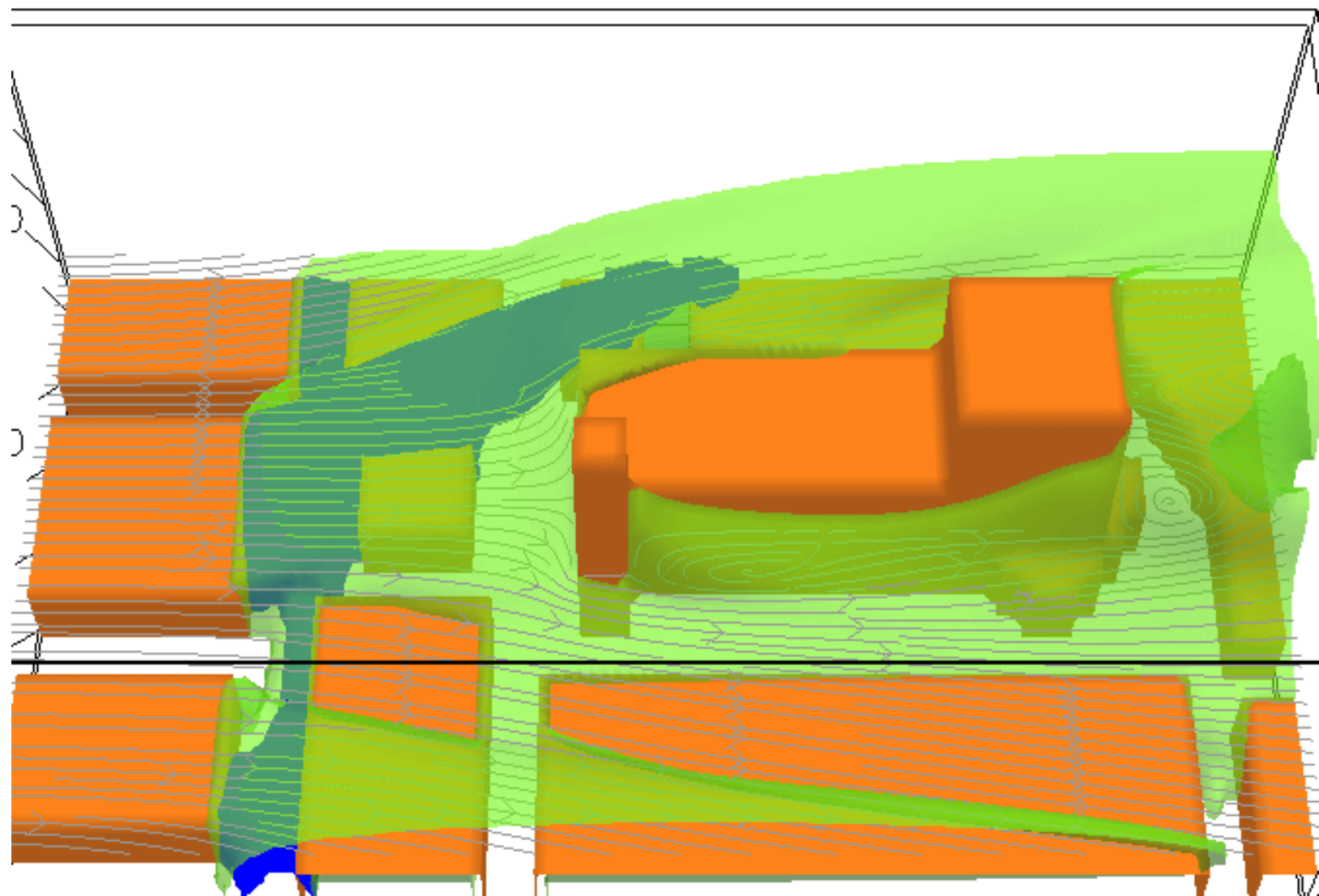
Geometry linear
simple form
complex form

Inclination vertical
horizontal
inclined

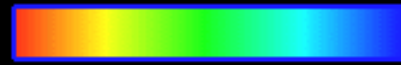
Deposizione di inquinanti gassosi e particolati – Fattori critici

Orientamento delle superfici

- Permanenza dell'umidità superficiale
- Flussi tipici di vento
- Esposizione alla pioggia (esterno)
- Turbolenza atmosferica
- Rugosità della superficie
- Struttura chimica della superficie

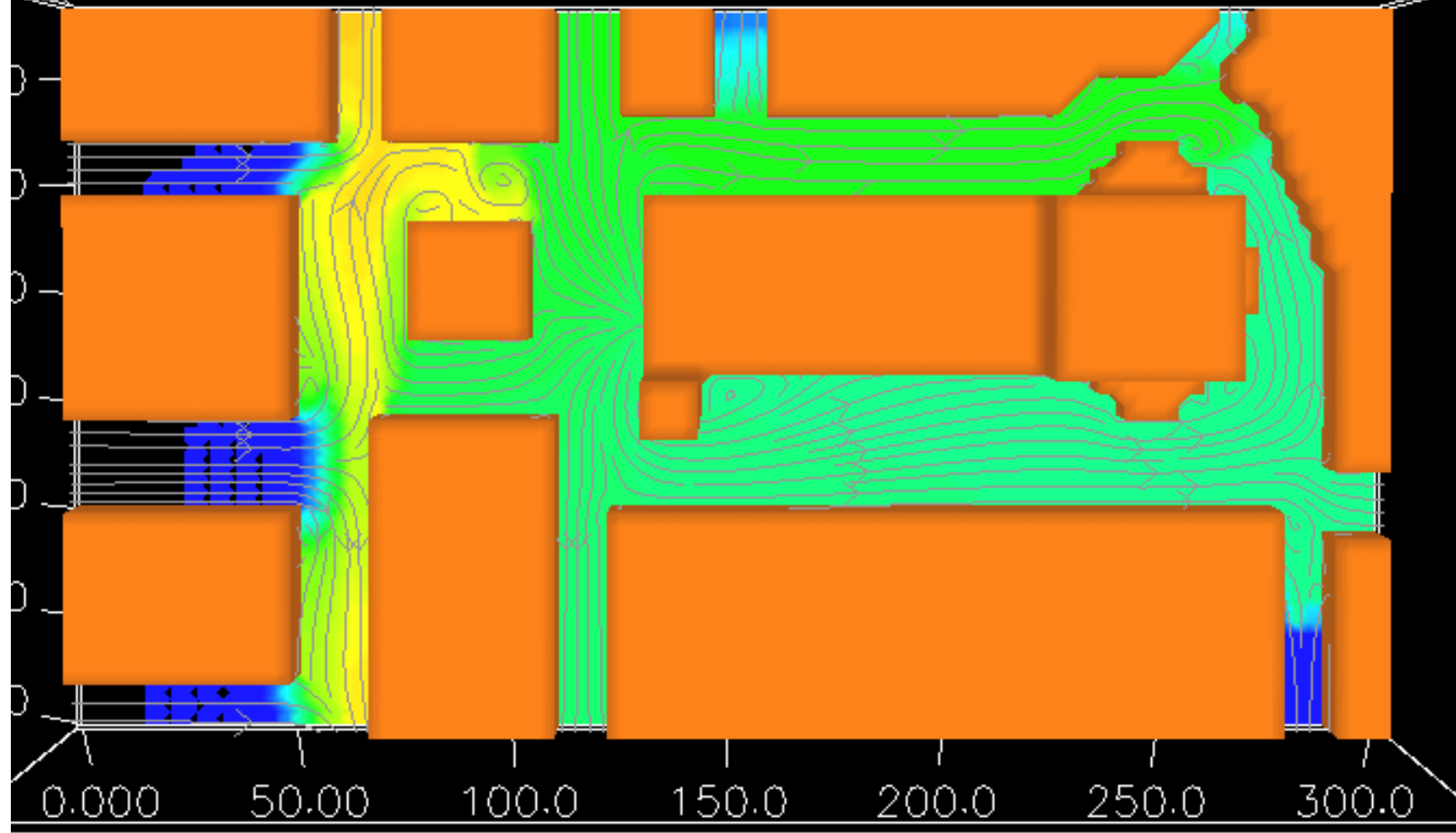


Slice 0m -> Colored Fields

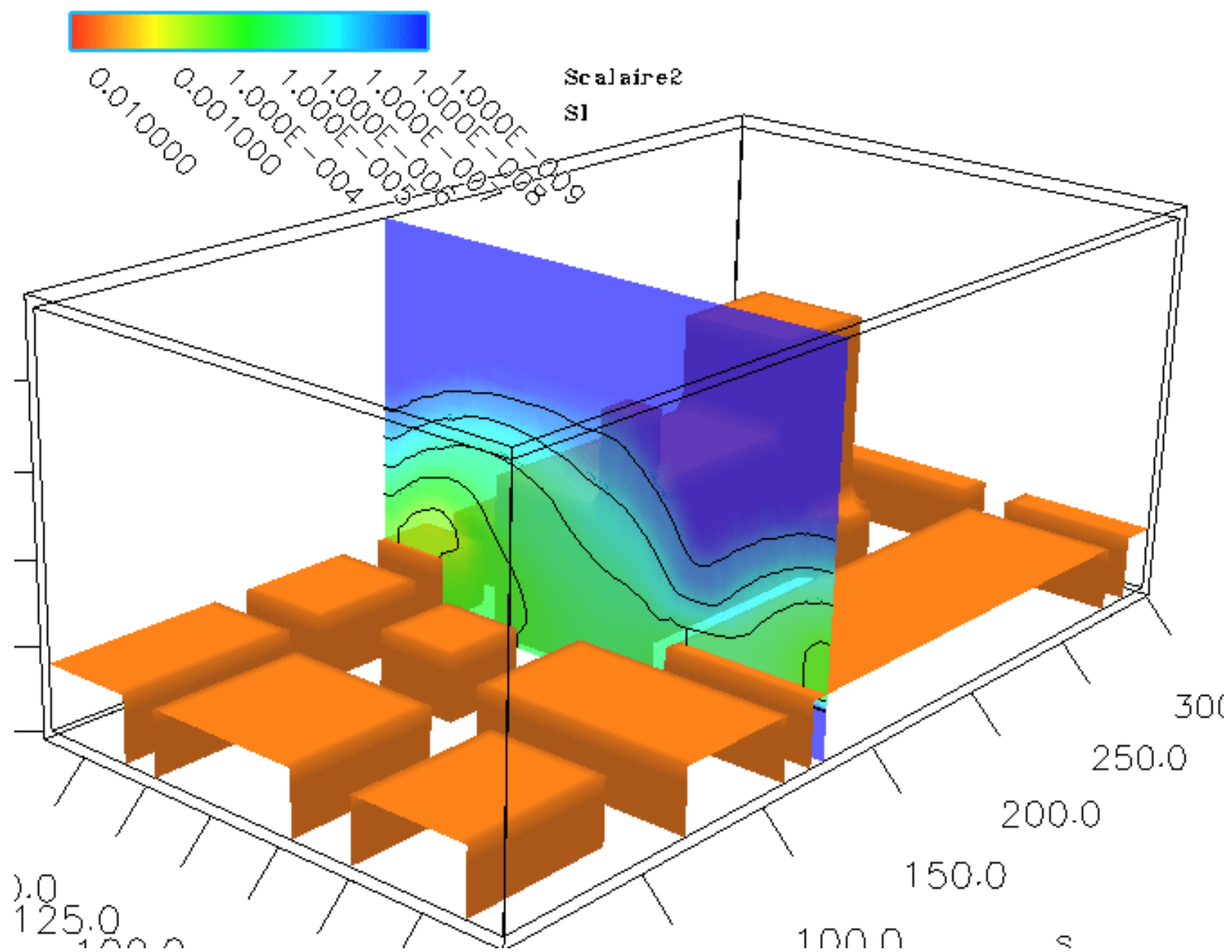


0.010000
0.001000
1.00000E-004
1.00000E-005
1.00000E-006
1.00000E-007
1.00000E-008
1.00000E-009

Scalaire2
SI



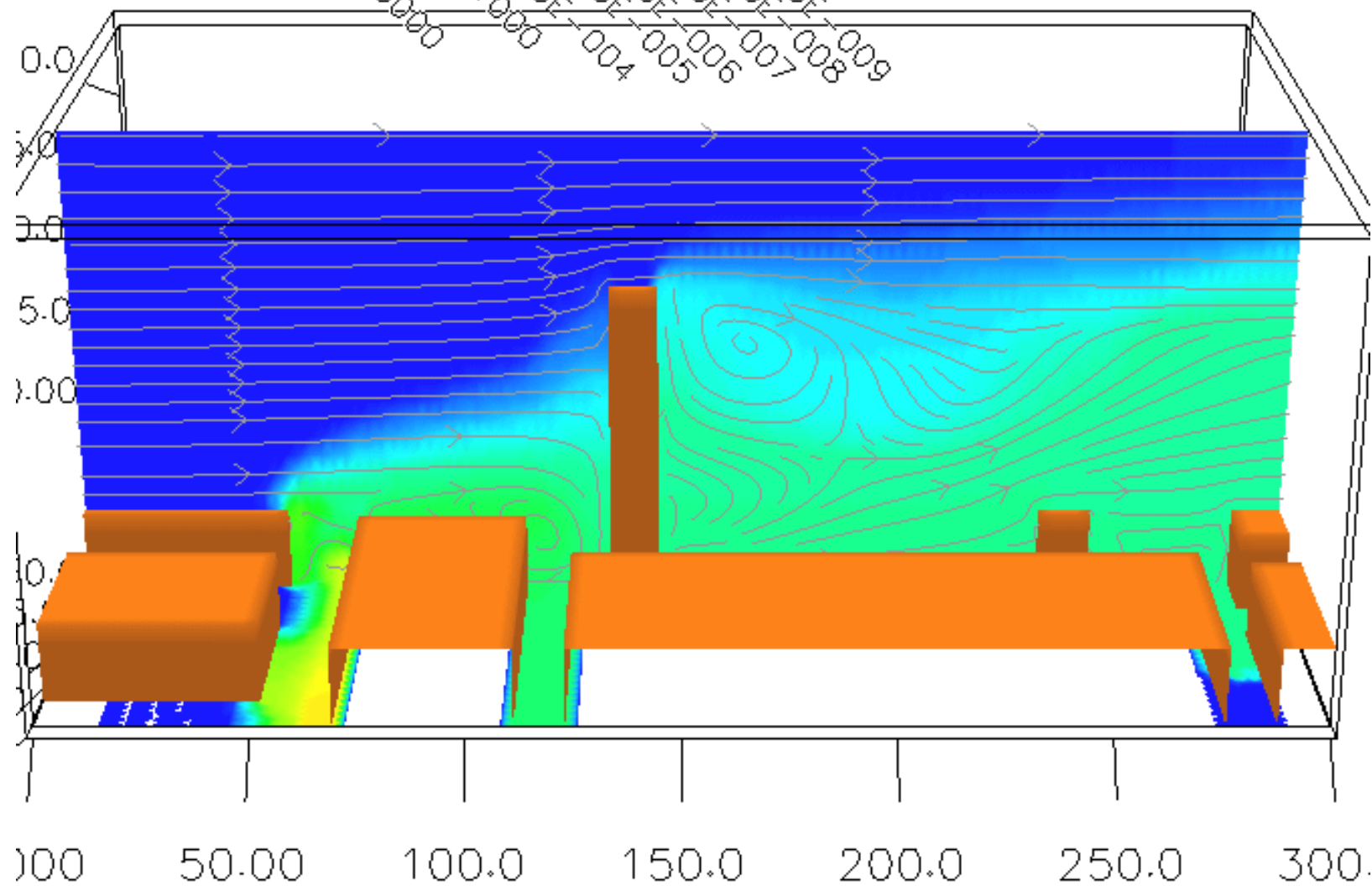
facciat a -> Colored Fields



Slice Om -> Colored Fields



Scalaire2
SI
0.010000
0.001000
1.000E-004
1.000E-005
1.000E-006
1.000E-007
1.000E-008
1.000E-009



Particolato atmosferico nei musei

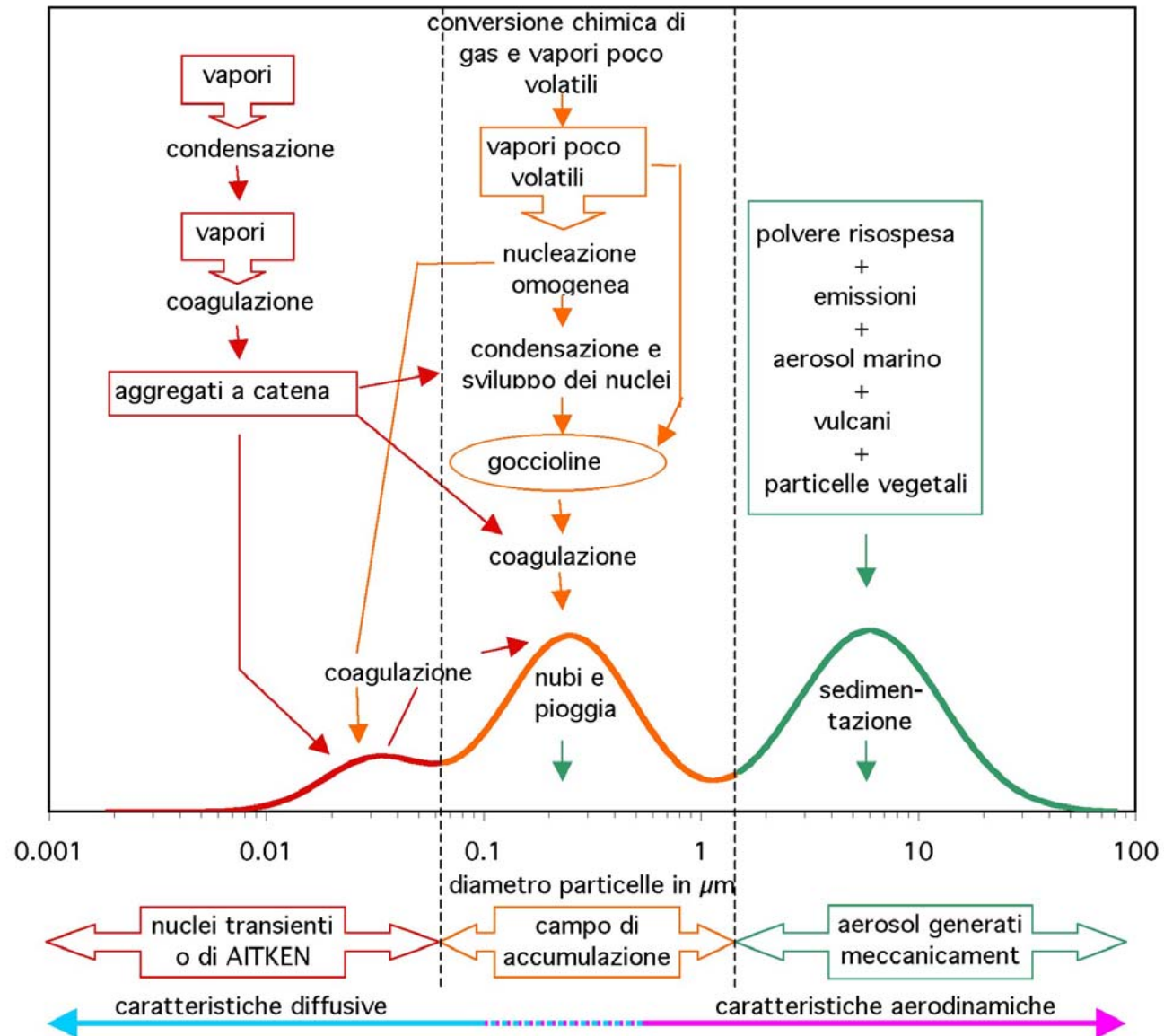
particolato indoor

Negli edifici storici progettati per altri usi e con atmosfere meno inquinate la struttura architettonica favorisce spesso l'ingresso del particolato aerosospeso negli ambienti interni (grandi entrate, numerose e ampie finestre).

Il particolato è veicolato all'interno delle sale:

- dai flussi d'aria per la frazione fine ($< 2 \mu\text{m}$) (impianti di ventilazione/condizionamento, infissi finestre, porte di accesso);
- dai visitatori per la frazione più grossolana.

Il modello delle polveri atmosferiche in un'area urbana



Tre distribuzioni lognormali in funzione del diametro o modi:

nucleazione
(particelle ultrafini,
< 0.1 μm)

accumulo
(particelle fini, tra
0.1 e 2 μm)

grossolano
(> 2 μm)

La permanenza

	Modo di nucleazione	Modo di accumulo	Modo grossolano
	particelle ultrafini	particelle fini	particelle grossolane
	diametri $< 0.1 \mu\text{m}$	$0.1 \leq \text{diametri} \leq 2 \mu\text{m}$	diametri $> 2 \mu\text{m}$
processi di rimozione	Accrescimento per coagulazione fino a transitare nella frazione di accumulo; Aggregazione per diffusione	Nuclei di condensazione delle nubi; Trascinati al suolo dalla pioggia	Sedimentazione; Trascinati al suolo dalla pioggia
	da minuti a ore	da giorni a settimane	da secondi a minuti

permanenza (tempi di deposizione)

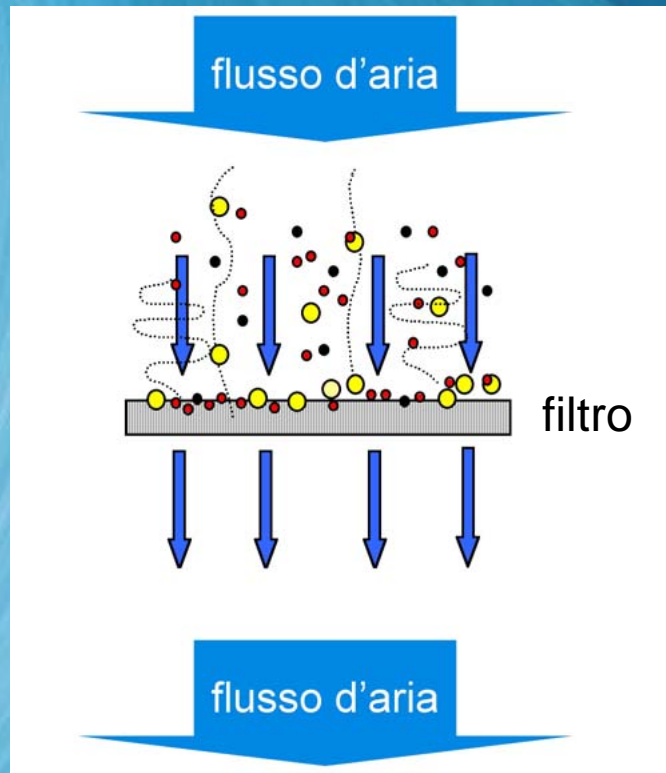
La deposizione

Processi di deposizione superficiale:

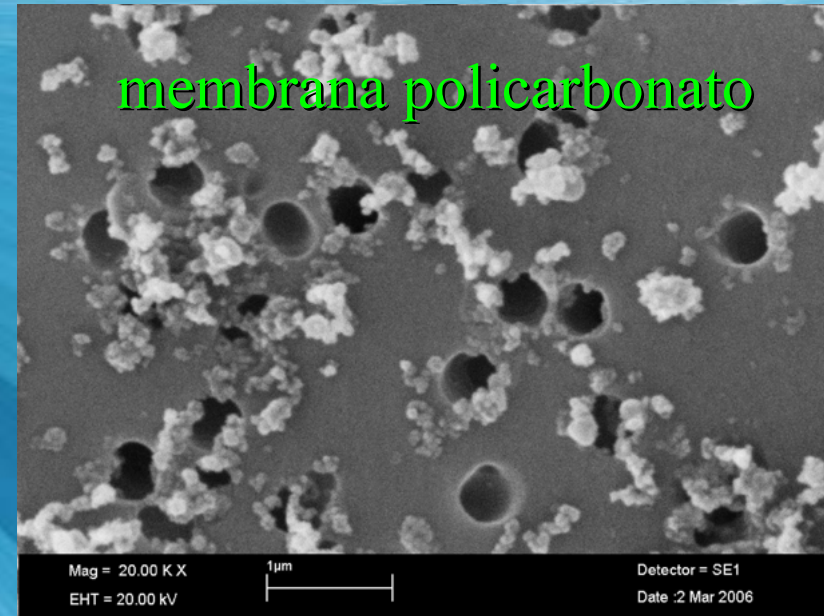
- **Diffusione**
(moto browniano particella)
- **Termoforesi**
(gradiente di temperatura fra aria e superficie)
- **Sedimentazione**
(peso della particella)

Metodologia di misura

filtrazione



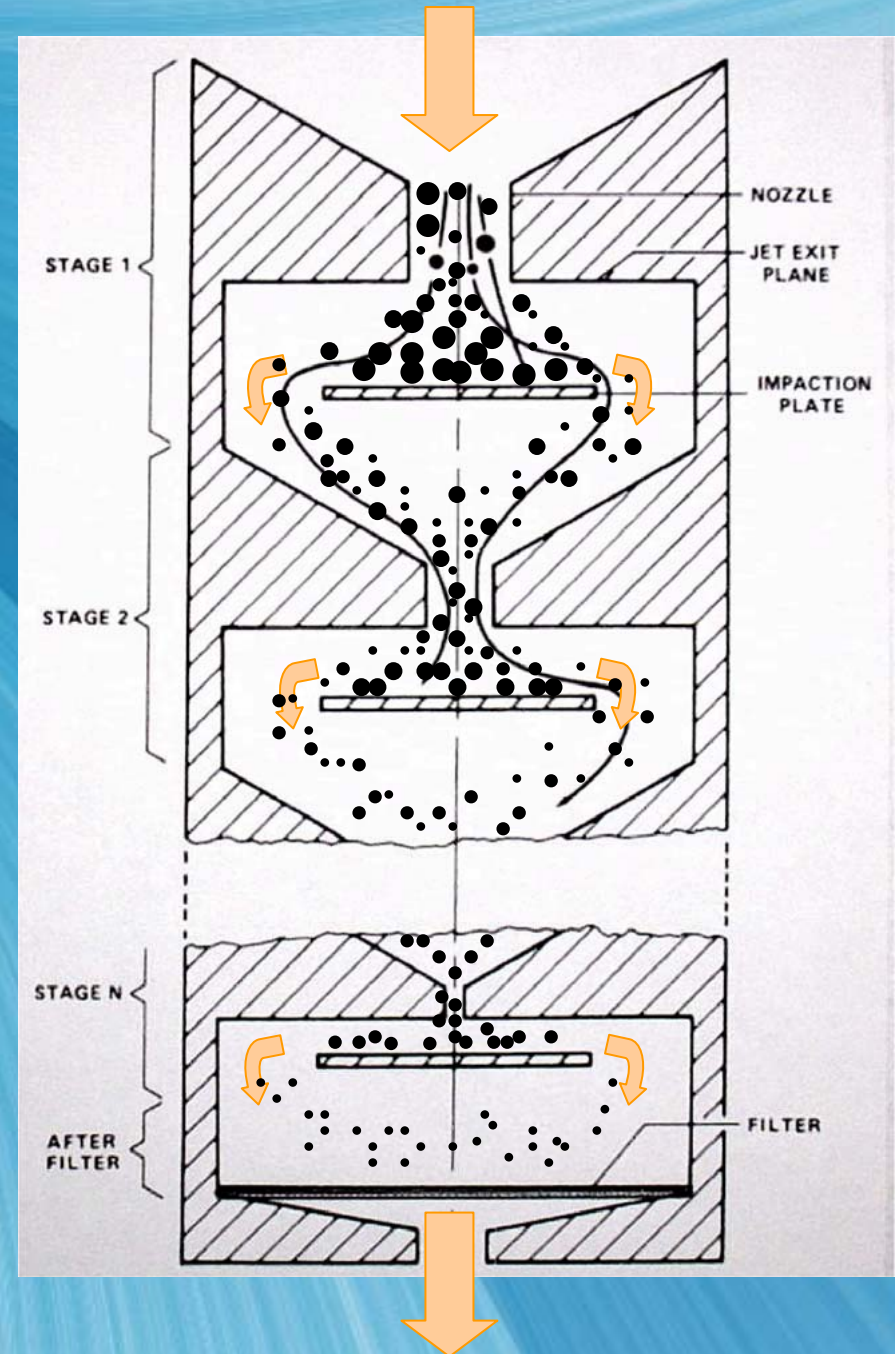
Concentrazione in massa [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



aerodinamica

selezione del particolato atmosferico per impatto inerziale su dei supporti

distribuzione dimensionale della concentrazione in massa [$\mu\text{g}/\text{m}^3/\mu\text{m}$] ($0.03 \div 10 \mu\text{m}$)



Impattore in cascata EMS Andersen mod. 20-800

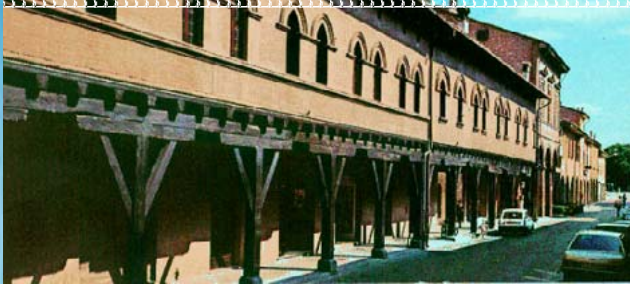


- <- >9 μm
- Dae
- <- [5.8÷9] μm
- <- [4.7÷5.8] μm
- <- [3.3÷4.7] μm
- <- [2.1÷3.3] μm
- <- [1.1÷2.1] μm
- <- [0.7÷1.1] μm
- <- [0.4÷0.7] μm
- <- < 0.4 μm

deposimetro



La mostra di
Gaetano e Ubaldo Gandolfi - Opere scelte
Cento (FE) 11-16 Aprile 2002



Il museo
Lercaro
Bologna 25-27 Gennaio 2006



Il museo del
Convento dei Cappuccini San Giuseppe
Bologna 19-20 Febbraio 2001



Le misure



I campionamenti a Cento...

Mostra Gaetano e Ubaldo Gandolfi
Auditorium di San Lorenzo

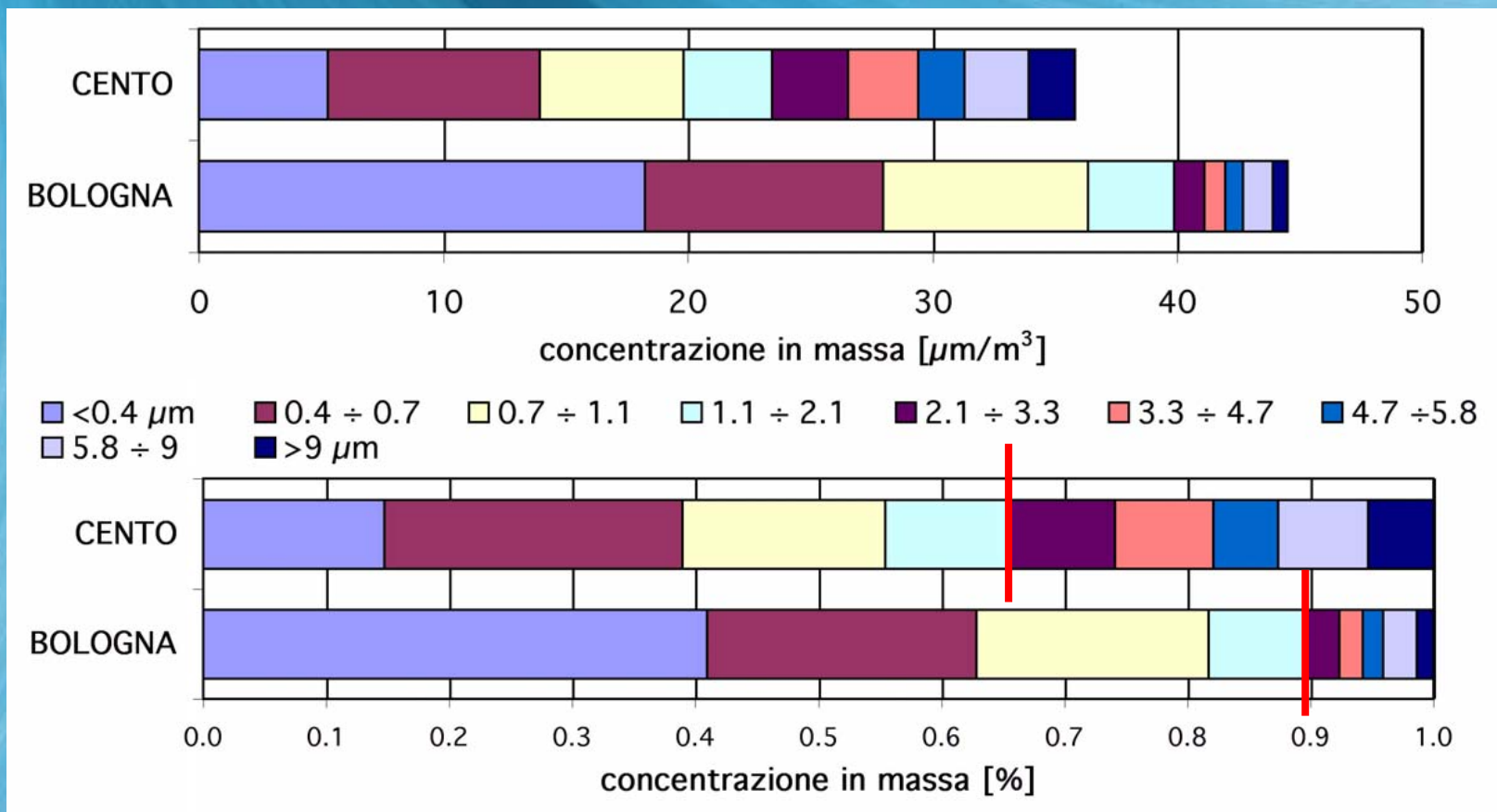


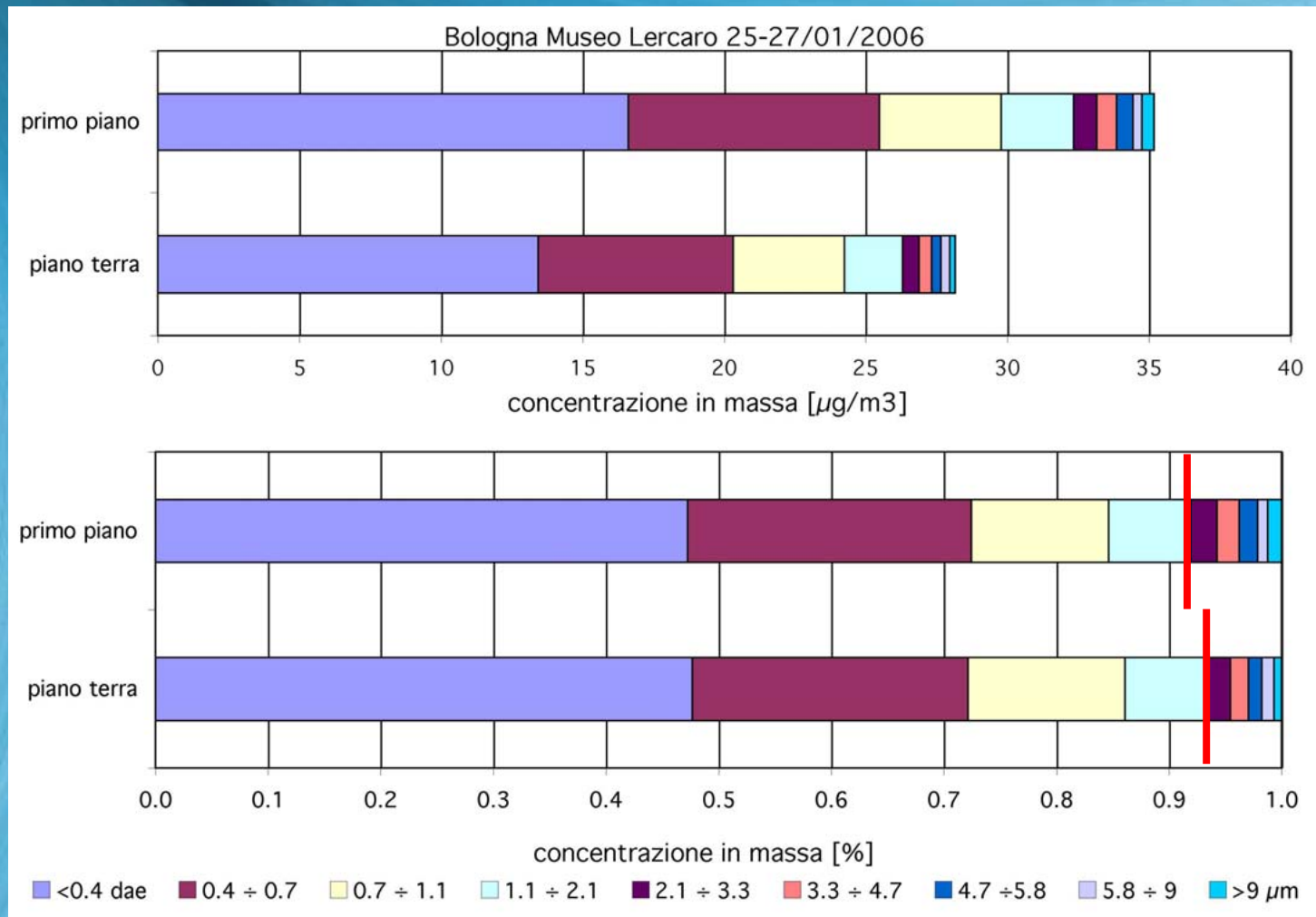
... e a Bologna

Museo del Convento dei Cappuccini di San Giuseppe



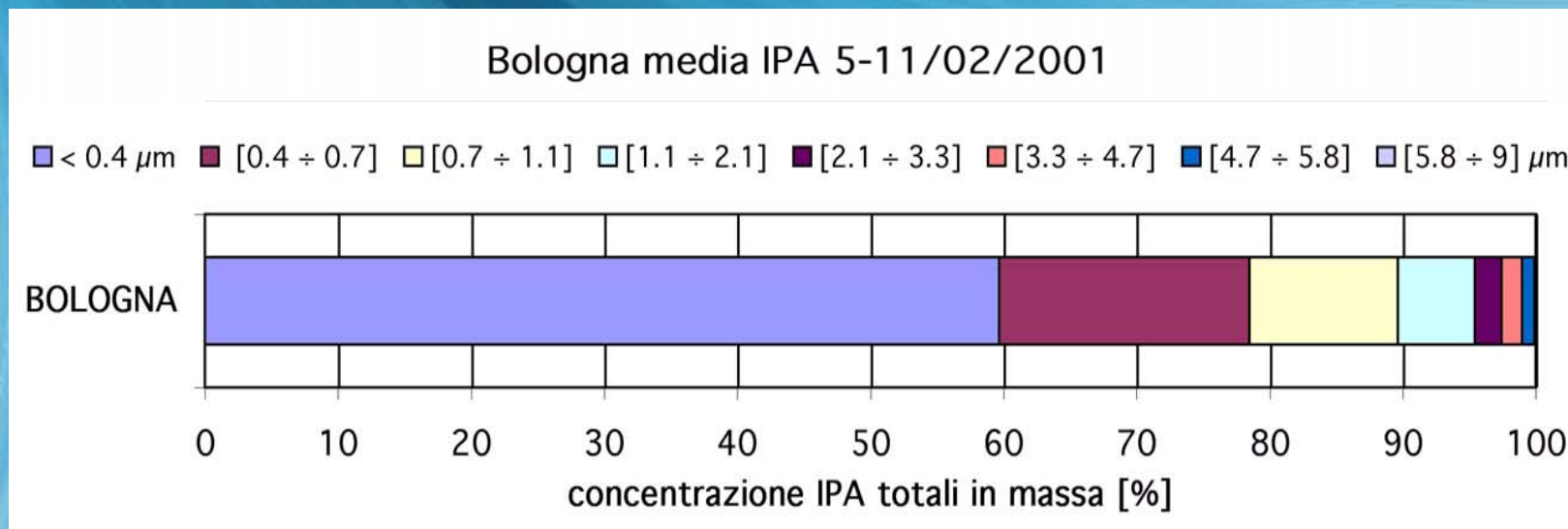
I risultati





Le concentrazioni in massa evidenziano una presenza considerevole di particelle aerosospese fini e ultrafini

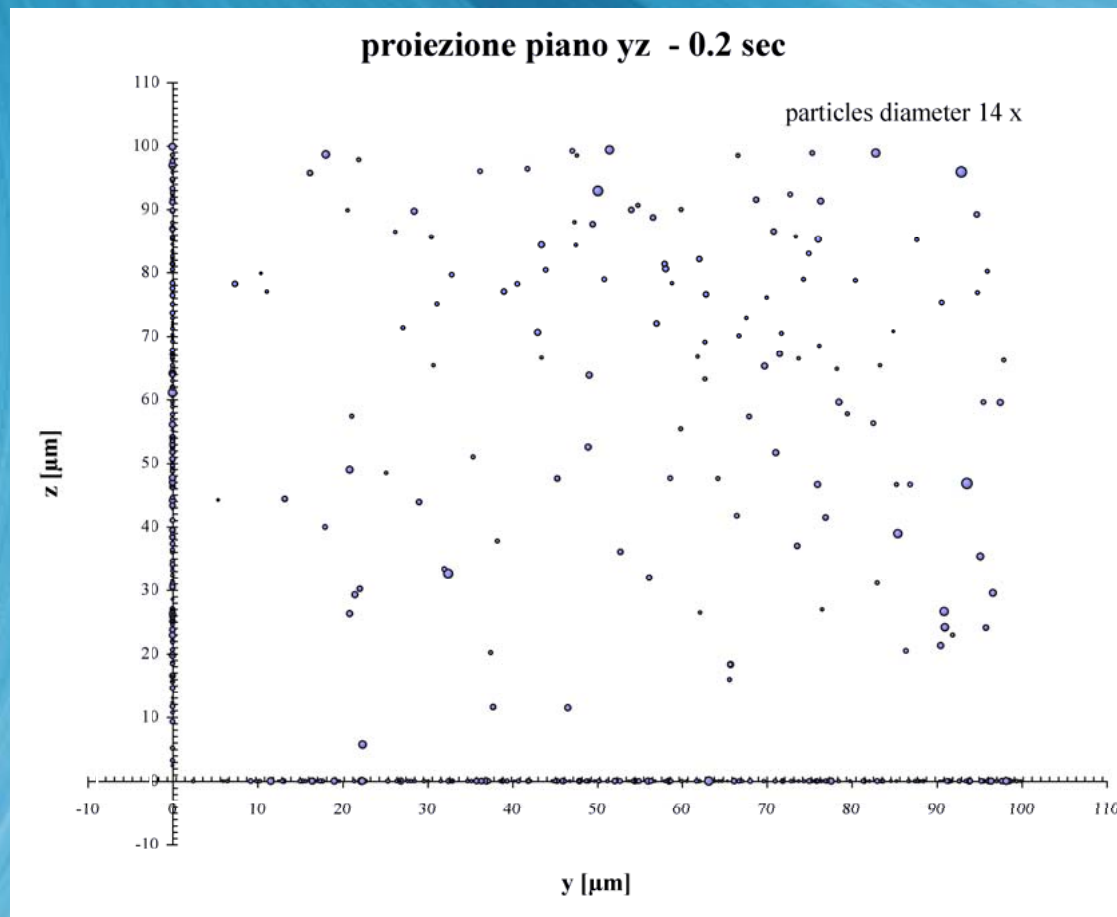
...tra le sostanze chimiche presenti nel particolato delle aree urbane...



il 90% della massa degli IPA* è contenuta nel particolato fine e ultrafine

***Idrocarburi Policiclici Aromatici:** sono caratterizzati da un basso grado di solubilità in acqua, elevata persistenza e capacità di aderire al materiale organico

Modello di deposizione



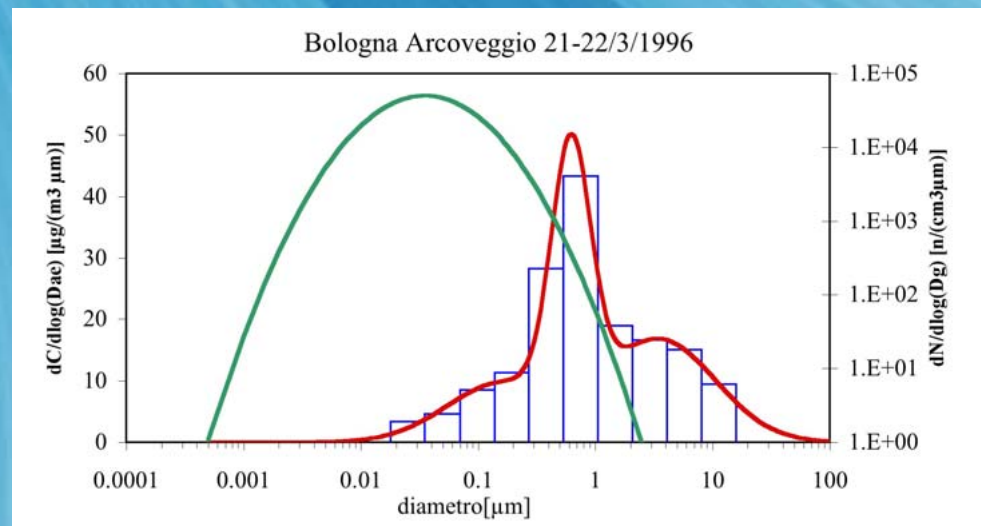
dmn $0.02 \mu\text{m}$
sg 1.7

Rateo di deposizione

Diametro Particella (μm)	Concentrazione (p/cm^3)	Deposizione cumulativa 100 secondi			Rapporto (Diff+Term)/Sedim
		Diffusione (p/cm^2)	Termoforesi (p/cm^2)	Sedimentazione (p/cm^2)	
0.01 ± 0.0006	265.9	69	7	0	417
0.1 ± 0.005	3331.9	97	67	29	6
1 ± 0.1	73.3	0.43	0.95	25.7	0.05
10 ± 1	5.E-03	9.E-06	4.E-05	2.E-01	3.E-04

Deposizione su un piano orizzontale di un aerosol di densità unitaria ($1 \text{ g}/\text{cm}^3$), per un gradiente unitario di temperatura ($\Delta T=1$) a $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Distribuzione
Concentrazione in numero



La frazione del particolato aerosospeso con diametro inferiore a $1 \mu\text{m}$ per

- la composizione chimica
- la concentrazione in numero
- i meccanismi di deposizione
- i tempi di permanenza in atmosfera

risulta la fonte principale di rischio di danno per le superfici dei manufatti d'arte esposti nei musei delle grandi città.