

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

Eugenio Fazio¹, Valerio Bonacquisti¹, Marta Di Michele², Francesca Frasca³ e Anna Maria Siani²

1. Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria, Sapienza Università di Roma, Via A. Scarpa 16, 00161 Roma
2. Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, P.le A. Moro 5, 00185 Roma
3. Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma, P.le A. Moro 5, 00185 Roma

Abstract:

L'Accordo sul clima di Parigi del 3 settembre 2016 contiene quattro importanti impegni per gli Stati firmatari, uno dei quali è quello di smettere di aumentare le emissioni di gas serra il più presto possibile. Il termine "gas a effetto serra" si riferisce al biossido di carbonio, metano, particolato, protossido di azoto e ozono. Il loro controllo potrebbe rallentare il riscaldamento globale e allo stesso tempo migliorare la salute pubblica e il rendimento agricolo [1]. Pertanto, il monitoraggio del particolato fine inalabile nell'aria è un problema di attualità e richiede un'attrezzatura più accurata e versatile in conformità con la legislazione vigente, basata esclusivamente su misurazioni gravimetriche. Questa tecnica è soggetta a standard rigorosi per limitare gli errori e l'influenza sul peso degli aerosol (acqua o idrocarburi). Presenta numerosi svantaggi, primo il ritardo temporale tra il campionamento dell'aria e la determinazione del particolato depositato, che può arrivare anche ad alcuni giorni. Presenta invece un grande vantaggio: il campionamento dell'aria su filtri che possono essere archiviati, permettendo la creazione di banche dati dell'aria per eventuali post-elaborazioni. Altre tecniche sono state sviluppate parallelamente a quella gravimetrica per accelerare la misurazione: la nefelometria anche spettroscopica ad angoli fissi da campioni gassosi contenenti particolato; attenuazione della radiazione beta; assorbimento ottico o etalometria. Le tecniche basate su scattering sono in genere molto veloci e consentono di monitorare il particolato in tempo reale; al contrario, di solito non sono precise con grandi errori di misura. L'attenuazione della radiazione beta è una tecnica consolidata anche commercialmente, ma non è mai stata adottata ufficialmente per l'impiego di radiazioni ionizzanti.

La misurazione dell'attenuazione ottica, etalometria, apparve per la prima volta nel 1984 [2], principalmente per misurare la frazione carboniosa presente nel particolato. Successivamente, l'etalometria è stata utilizzata in modo spettroscopico [3] per valutare l'assorbanza ottica.

Nel 2017 è stata presentata per la prima volta CleAir [4], una centralina automatica di monitoraggio ideata e costruita presso il Dipartimento di Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria. CleAir è un dispositivo completamente automatico che campiona l'aria sui filtri in fibra di quarzo, secondo la norma EN 12341: 2014 e li misura in situ utilizzando una tecnica di trasmissione ottica spettroscopica, unendo sia i vantaggi di una misura ottica immediata che un eventuale controllo gravimetrico o chimico post-campionamento. CleAir si basa sull'analisi spettroscopica di filtri in regime quasi-stazionario, cioè quando la quantità di particolato PM10 (o PM2.5 o PM1) depositato raggiunge uno stato quasi stazionario. CleAir è interamente programmabile, con cicli di monitoraggio su intervalli temporali completamente selezionabili dall'utente, per avere informazioni sia sulla dinamica del particolato che del totale presente su 24h.

CleAir è stato applicato in molti ambienti indoor e outdoor. All'interno di realtà museali (ad esempio il Museo Napoleonico di Roma) Cleair può rappresentare un importante strumento di ausilio all'amministrazione del museo, sia per controllare e limitare i danni alle opere d'arte, sia per studiare politiche di gestione dei flussi di visitatori.

Nel presente lavoro sarà presentata la centralina CleAir e della sua applicaizone all'interno del Museo Napoleonico di Roma, unitamente ai dati microclimatici dei locali.

1. Rogelj, J.; den Elzen, M.; Höhne, N.; Fransen, T.; Fekete, H.; Winkler, H.; Schaeffer, R.; Sha, F.; Riahi, K.; Meinshausen, M. *Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 °C*. *Nature* **2016**, *534*, 631–639.
2. Hansen, A.D.A.; Rosen, H.; Novakov, T. *The aethalometer—An instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles*. *Sci. Total Environ.* **1984**, *36*, 191–196.
3. Arnott, W.P.; Hamasha, K.; Moosmüller, H.; Sheridan, P.J.; Ogren, J.A. *Towards Aerosol Light-Absorption Measurements with a 7-Wavelength Aethalometer: Evaluation with a Photoacoustic Instrument and 3- Wavelength Nephelometer*. *Aerosol Sci. Technol.* **2005**, *39*, 17–29.
4. Fazio, E.; Bonacquisti, V.; Di Michele, M.; Frasca, F.; Chianese, A.; Siani A.M. *CleAir Monitoring System for Particulate Matter: A Case in the Napoleonic Museum in Rome*. *Sensors* **2017**, *17*, 2076/1-2076/12.
5. Siani A.M.; Frasca, F.; Di Michele, M.; Bonacquisti, V.; Fazio, E. *Cluster analysis of microclimate data to optimize the number of sensors for the assessments of indoor environment within museums*. Accettato per la pubblicazione su *Environmental Science and Pollution Research* **2018**

RELATORE: Eugenio Fazio, socio ANFeA – mail: eugenio.fazio@uniroma1.it

Altro socio ANFeA: Valerio Bonacquisti – mail: valerio.bonacquisti@gmail.com

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

Eugenio Fazio¹, Valerio Bonacquisti¹
Marta Di Michele², Francesca Frasca² e Anna Maria Siani²



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dipartimento di Scienze di Base e Applicate
per l'Ingegneria (SBAI) e
Centro di Ricerca per le Nanotecnologie
Applicate all'Ingegneria CNIS

² Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

CONSERVAZIONE PREVENTIVA delle OPERE D'ARTE



La conservazione preventiva di un'opera d'arte si basa sulla mitigazione del deterioramento o del danno dovuto all'invecchiamento materiale e ai processi di degradazione biologica, meccanica e chimica nel tempo.

Il degrado dipende dalle condizioni ambientali a cui è esposto, come temperatura, umidità relativa, luce, inquinanti atmosferici, polvere anche in mutua interazione.

Per garantire la stabilità delle opere, le norme europee sulla conservazione (CEN TC 346) sono recentemente cambiate, al fine di mantenere stabile la gamma igrotermica a cui è sottoposto ogni materiale specifico, **concentrandosi sull'evoluzione storica del clima interno a cui gli oggetti si sono acclimatati e adattati tempo.**

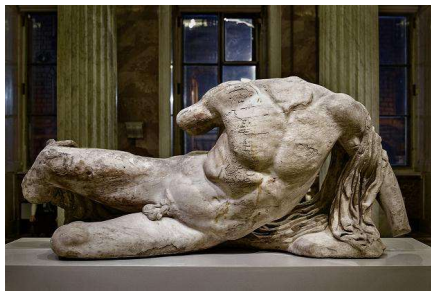


MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

INQUINAMENTO E MICROCLIMA IN UN MUSEO

Poiché ogni materiale ha uno specifico comportamento reattivo in funzione degli stress indotti dall'ambiente e della cinetica di degradazione, vi è una vasta eterogeneità in termini di comportamento fisico e deterioramento.

Qui focalizzeremo l'attenzione sul particolato e sulla sua interazione con il microclima interno.



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

TRE TIPI DI μ PARTICELLE:

Particelle organiche vitali



Batteri
Pollini
muffe

Particelle organiche non vitali



Idrocarburi
Fuliggine
Fibre vegetali

Particelle inorganiche



Rocce
Sale marino
metalli



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

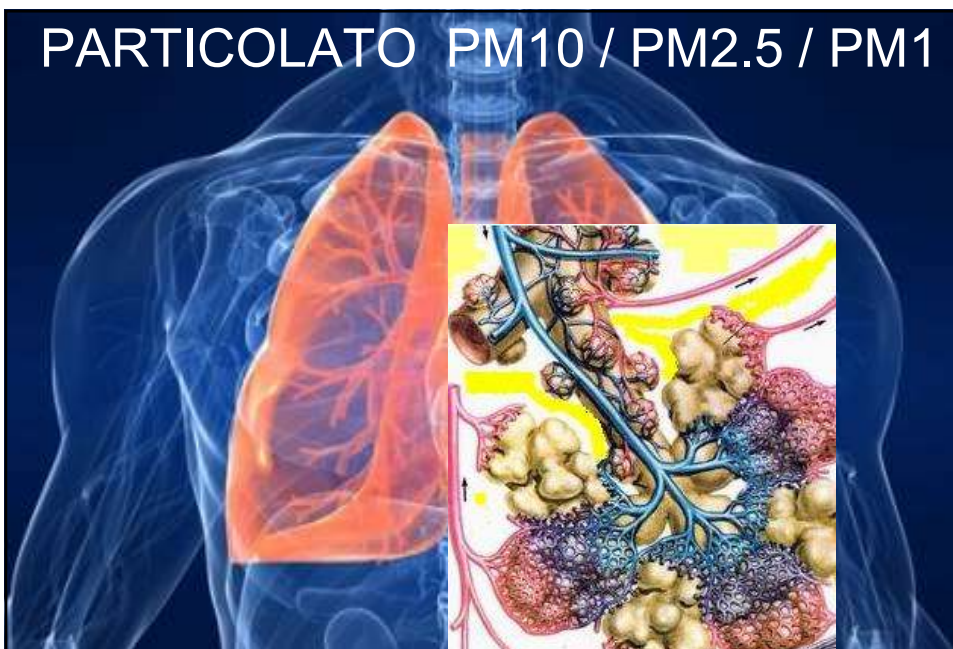
OLTRE AD ESSERE PERICOLOSO PER L'UOMO:



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

PARTICOLATO PM10 / PM2.5 / PM1



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

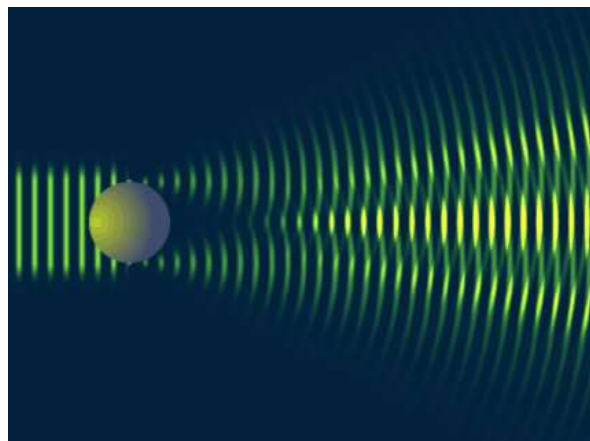
Particolato sospeso atmosferico

Il particolato atmosferico, di origine naturale o antropica, a seconda delle proprie dimensioni è in grado di impattare a vari livelli sul sistema respiratorio



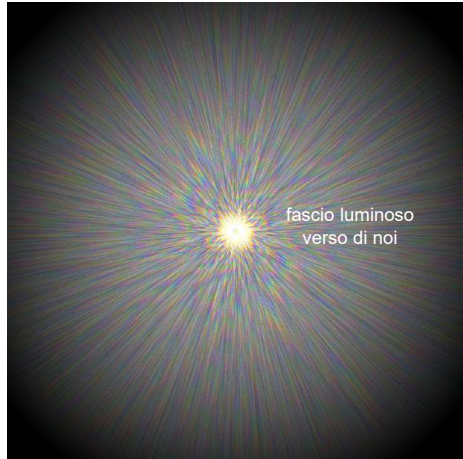
MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

MISURARE IL PARTICOLATO MEDIANTE SCATTERING DELLE ONDE EM DA PARTICELLE



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

Diffusione della luce da particelle



fascio luminoso
verso di noi

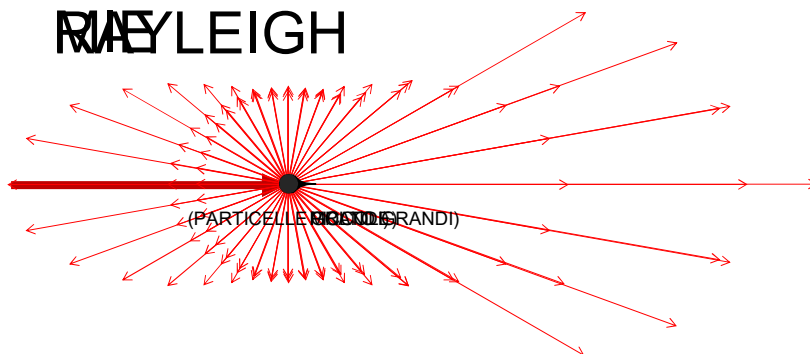
PARTICELLE
GRANDI



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

Quando un raggio di luce urta una particella....

SCATTERING DI ~~RAY~~ RAYLEIGH

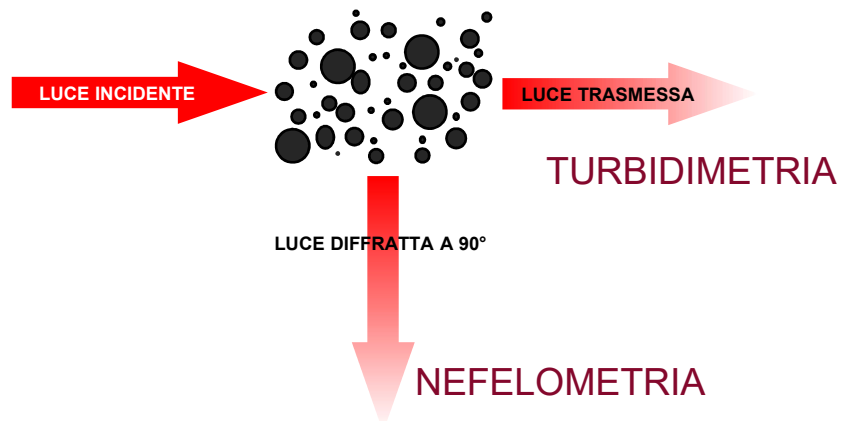


(PARTICELLE PICCOLE)



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

GEOMETRIE PER LA MISURA DI SCATTERING



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

NORMATIVA VIGENTE:



TUTTA LA PROCEDURA DURA CIRCA 48 h



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

CleAir

OPT SENSOR
OPTOELECTRONIC INSTRUMENTS
Sapienza University of Rome



**STAZIONE DI MONITORAGGIO
COMPLETAMENTE AUTOMATICA**

**CAMPIONAMENTO DELL'ARIA SU
FILTRI**

**MISURA OTTICA IN-SITU
DEL PARTICOLATO SUI FILTRI**

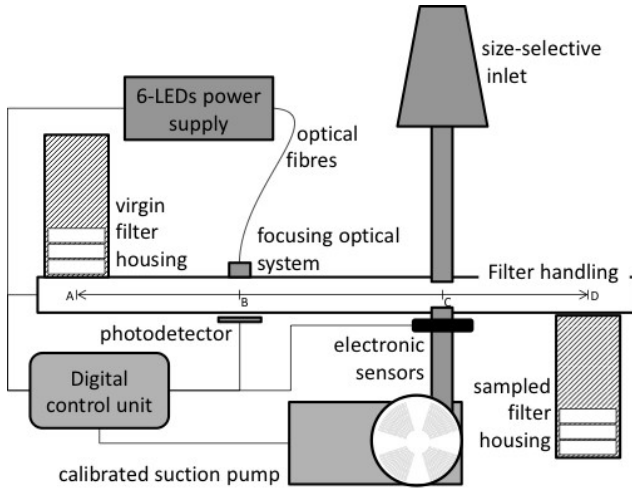
**CARATTERIZZAZIONE DEL
PARTICOLATO**

**COMUNICAZIONE WIRELESS DEI
DATI A REMOTO**

 **SAPIENZA**
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

CleAir



size-selective inlet

6-LEDs power supply

optical fibres

virgin filter housing

focusing optical system

Filter handling

AK ← B → C → D

photodetector

Digital control unit

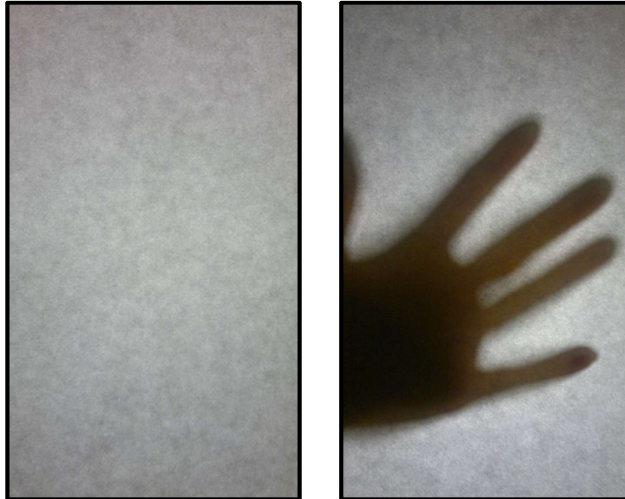
calibrated suction pump

electronic sensors

sampled filter housing

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

RIVELARE LA LUCE ATTRAVERSO SISTEMI OPACHI



Trasmissione della luce attraverso la carta



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

PERCOLAZIONE DELLA LUCE ATTRAVERSO I FILTRI

.....ANALOGAMENTE A:



Caffè moka



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

CleAir

**CAMPIONARE L'ARIA SU FILTRI
PER MISURE SIA OTTICHE CHE GRAVIMETRICHE**

PARTICOLATO URBANO



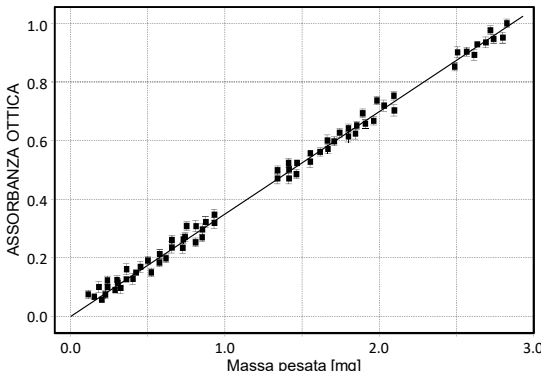
PARTICOLATO DA CEMENTIFICIO

 **SAPIENZA**
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI


CleAir

**CAMPIONARE L'ARIA SU FILTRI
PER MISURE SIA OTTICHE CHE GRAVIMETRICHE**



ASSORBANZA OTTICA

Massa pesata [mg]

 **SAPIENZA**
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI





Cluster Analysis (CA)

La Cluster Analysis (CA) consente di organizzare i dati in gruppi separati (cluster) in base alle loro caratteristiche.

Nel nostro caso:

TEMPERATURA
UMIDITÀ RELATIVA RH
RAPPORTO DI RIMESCOLAMENTO MR

I dati sono distribuiti nei diversi cluster da un algoritmo iterativo in modo da minimizzare la varianza all'interno di ciascun cluster e massimizzarla tra i clusters (Warren 2003).

I valori medi e la distanza euclidea sono gli elementi di output. I valori medi identificano il centroide di ciascun cluster, mentre la distanza euclidea identifica gli oggetti rispetto a ciascun centroide del cluster.

Il numero di cluster è determinato in base al valore massimo dell'indice Silhouette (S), che valuta la coerenza all'interno del cluster della stanza i-th rispetto agli altri cluster.

$$S_i = \frac{b_i - a_i}{\max\{a_i, b_i\}}$$

dove $a(i)$ è la distanza media della stanza i-th verso altre stanze nello stesso cluster e $b(i)$ è la distanza media minima della stanza i-th dalle altre stanze nei diversi cluster

L'indice S varia tra -1 (cioè la i-esima stanza non appartiene a quel cluster) e +1 (i dati sono ben raggruppati) (Rousseeuw 1987). S(i) è stato calcolato con un livello di confidenza del 95%.



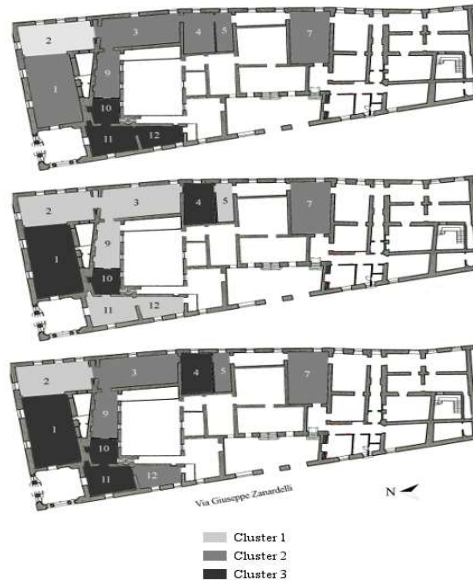
MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

Cluster Analysis (CA)

TEMPERATURA

UMIDITÀ RELATIVA

RAPPORTO DI RIMESCOLAMENTO

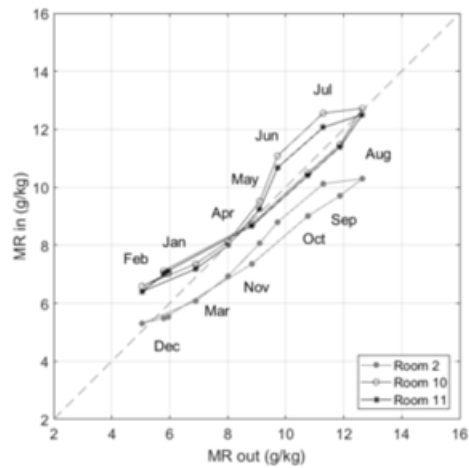
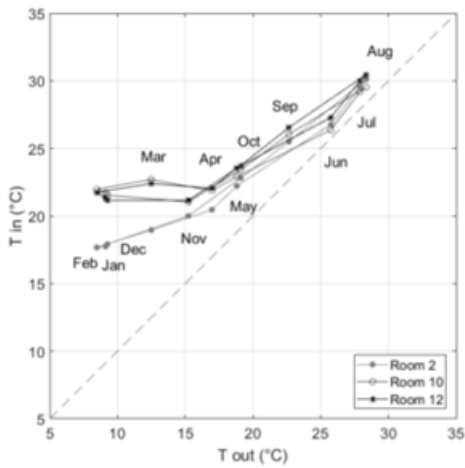


La temperatura (T) e l'umidità relativa (RH) sono state monitorate da novembre 2008 utilizzando termistori e sensori di capacitivi.



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

Cluster Analysis (CA)



MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

CAMPAGNE DI MISURA DEL PARTICOLATO

2016

15–21 gennaio	13–22 aprile
06–10 febbraio	07–15 maggio
14–20 febbraio	

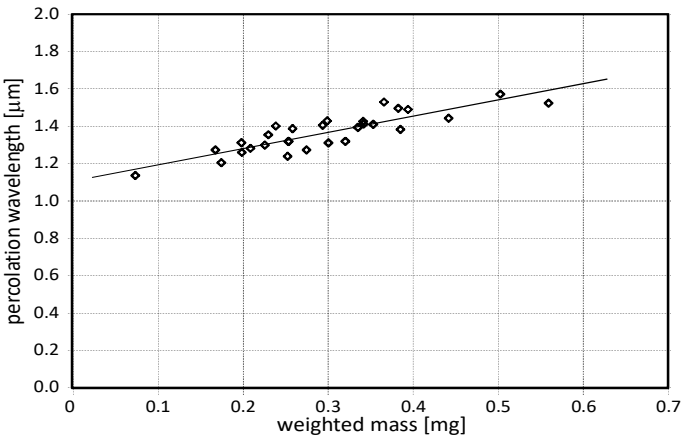

SAPIENZA
 UNIVERSITÀ DI ROMA


MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI

Misura ottica Vs misura gravimetrica

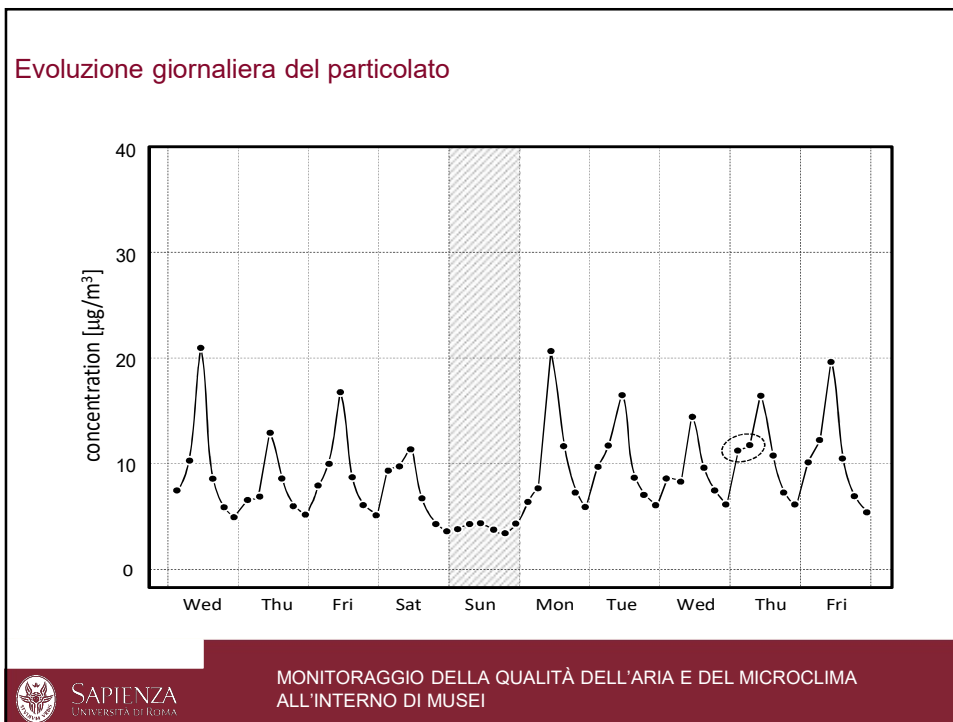
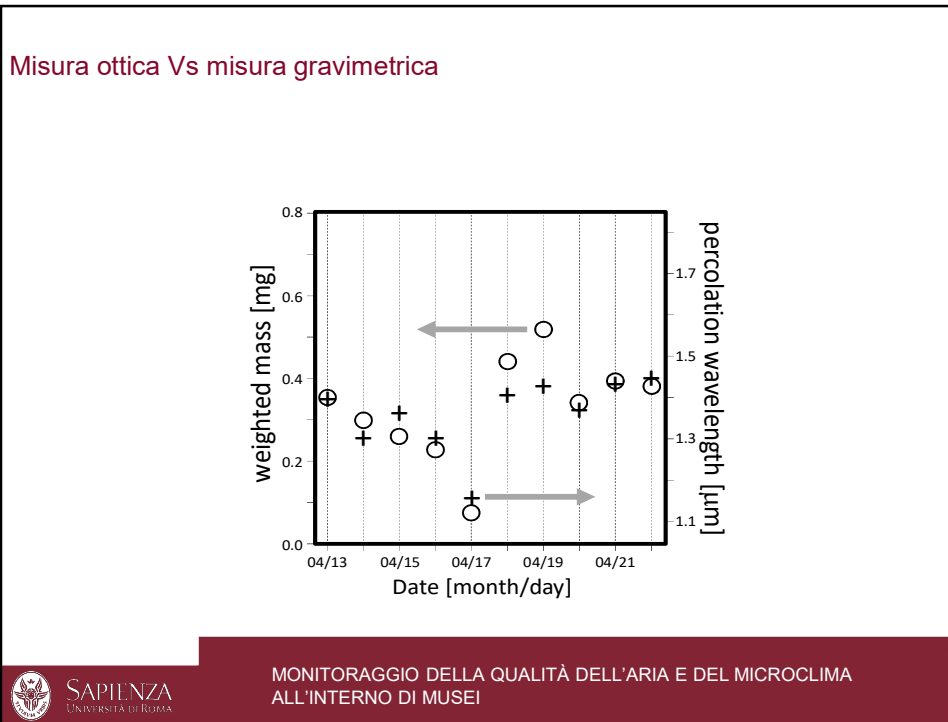
$$T = e^{-(\Lambda/\lambda)^\alpha}$$

Trasmissione in percolazione




SAPIENZA
 UNIVERSITÀ DI ROMA


MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA ALL'INTERNO DI MUSEI




Parametro dimensionale

$$T = e^{-(\Lambda/\lambda)^\alpha}$$

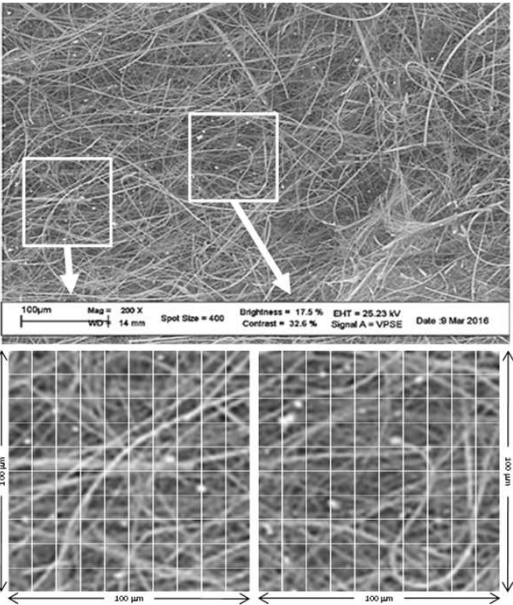
Trasmissione in percolazione



 SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

ANALISI AL SEM:
PARTICOLATO DI CIRCA 3 μm



 SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA E DEL MICROCLIMA
ALL'INTERNO DI MUSEI

