

# LASER SCATTERING METHODOLOGY FOR MEASURING PARTICULATES IN THE AIR

**Carlo Giglioni \***

CON.TEC Engineering

**Andrea Natali**

Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali  
Alma Mater Studiorum Università di Bologna (sede di Ravenna)

*Keywords:* CON.TEC Engineering, cultural heritage, fine dust, laser scattering

## 1. Introduction

It is well known that the negative effects on human health besides climate implications, within the context of the phenomenon of atmospheric pollution, of fine dusts (PM 10, PM 2.5) constitute a priority [1-6].

However, for the purposes of a proper action of preservation and of prevention with regard to exposed cultural property and the interaction of the aforesaid dusts with these artefacts, it is opportune to note how such action of alteration/degradation could also occur within confined spaces, such as museums, libraries and archives [7-10].

Particularly, the presence of a high quantity of dusts within the area where frescoes, paintings, sculptures and works of art in general are situated, should be readily surveyed to allow the prevention of any dangerous situation.

This work relates to some applications, which are being developed at museum sites, by the Mobile Unit for the monitoring of fine dusts (PM 10 – PM 2.5 – PM 1 with diameters respectively below 10  $\mu\text{m}$ , 2.5  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$ ) and the granulometric classification of the DustMonit atmospheric particulate matter arranged by CON.TEC Engineering (Figure 1).

The scope of the study is to provide a clearer and more trustworthy definition on the evaluation of such dusts in an indoor environment.

## 2. The Mobile Unit for the monitoring of fine dusts and the granulometric classification of the DustMonit atmospheric particulate matter

The DustMonit Mobile Unit uses the “laser scattering” measuring method which

---

\* Corresponding author: e-mail [info@conteng.it](mailto:info@conteng.it)



Figure 1. Portable unit for monitoring and granulometric classification of fine dusts in ambient air, model DustMonit, manufactured by CON.TEC Engineering.

conveys it to a chamber where the transported particles are individually invested with a ray of laser light.

The energy reflected from each particle, which is proportional to its size, is measured by a high-speed photodiode which generates on exit both the counting signs and those relating to the characteristics of size.

The system software, put into function by CON.TEC Engineering, relates these values with the volume unit by sending on serial line RS232 a final result in the standard engineering unit.

The graphs resulting from the findings allow for a real time view of the situation relating to

allows the measurement, viewing and registration of the environmental particulate concentration in a simple and instant method, up to one measurement every 6 seconds. This constitutes one of the most important specifics of the instrument in that the survey intervals are by far less than the gravimetric method (which provides for the weighing of filters which were duly treated). The analyzer allows the contemporaneous and real time measurement of the following parameters:

- PM10 – PM2.5 – PM1;
- Counting of particles present in the air, divided into 8 granulometric classes from 0.3  $\mu\text{m}$  to 10  $\mu\text{m}$ .

The diagram is shown (Figure 2) along with a brief description of the laser scattering method of measurement.

A controlled pump with a constant flow sucks in air through a radial symmetry probe and con-

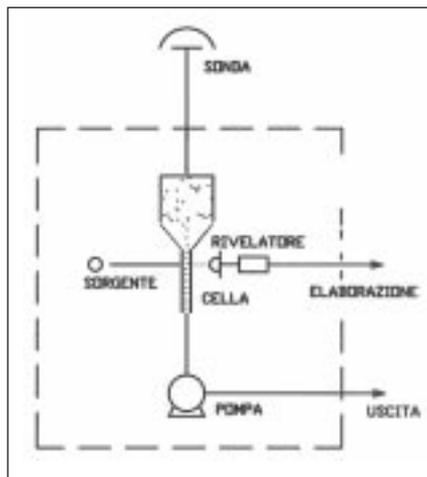


Figure 2. Diagram of the laser scattering method of measurement.

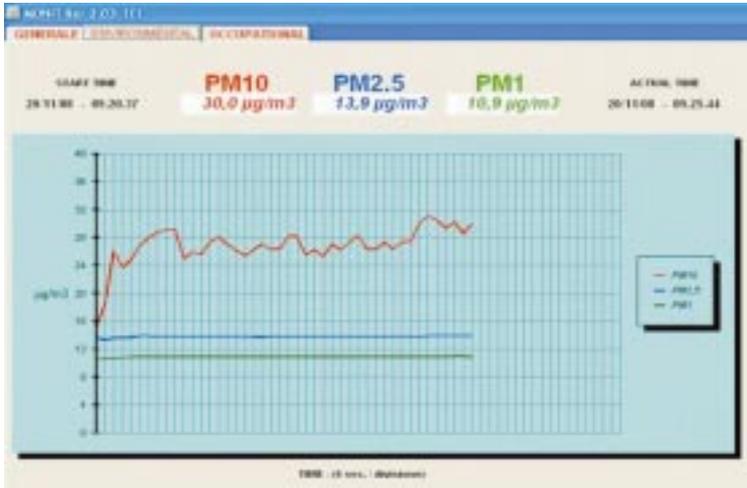


Figure 3. Visualization of the measurements: PM 10 (red), PM 2,5 (blue), PM 1 (green).

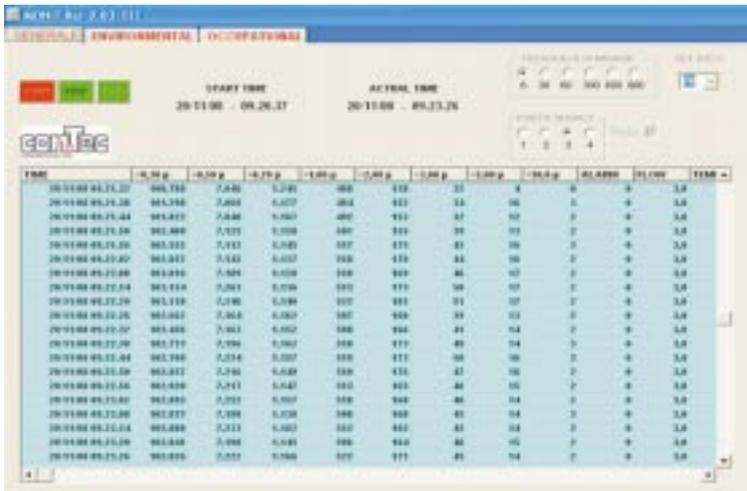


Figure 4. Visualization of the measurements: granulometric classification of the particulate.

the PM10 dusts (in red), of the PM2.5 dusts (in blue), of the PM1 dusts (in green) (Figure 3) and the subdivision into 8 granulometric classes from 0.3  $\mu m$  to 10  $\mu m$  (Figure 4).

The concentration levels of dusts, viewed both in graphic and tabular form, can also give an evaluation of the salubrity of the place where they are sampled.

The sampled data can be compared with the acceptable pollution limits in accordance with existing rules.

The method of measurement by laser scattering is also used by public entities which perform the monitoring of air pollution.

The measurements, which can also be performed for long periods of time (one or more years), are memorized on an adequate base to allow any eventual processing even by using the most common IT programs.

The most common application of this instrument is the evaluation, in real time, of both the presence of visitors and of pollution deriving from external sources which influence the quality of the environment, with the aim of the effecting, in a timely manner, any possible procedure to safeguard exposed works of art. This application would not be possible with the gravimetric method.

Instruments based on this method have been used by several Universities and Research Centres and have given, in each circumstance, very good results in terms of ease of use, trustworthiness and precision. Besides, the totality of obtained results has always allowed a correct and efficient evaluation of the measurements which have been taken.



Figure 5. Leonardo da Vinci, *Cenacolo*, Milano [11].

### 3. The sites under review

Particulate measurements within museum surroundings, with the use of laser scattering instruments, have already been made near Leonardo da Vinci's *Cenacolo*, in Milan (Figure 5).

Within the context of cooperation between CON.TEC Engineering and the History and Methods Department for the Preservation of Cultural Heritage at the University of Bologna, some surveys are being made at the Ravenna "Loggetta Lombardesca" Arts Museum (Figures 6-7) and MIM – the Museum in Motion at Castello di San Pietro in Cerro (PC) (Figures 8-9).

Besides, surveys are also being conducted with the same instrument inside certain halls of the Galleria degli Uffizi in Florence (Figure 10). In this city the instrument is used to survey the Loggia del Lanzi in Piazza della Signoria (Figure 11).

The findings of investigations which are underway and suitable deliberations shall form the subject of further publications.



Figure 6. Art Museum of Ravenna city "Loggetta Lombardesca", Ravenna [12].



Figure 7. Art Museum of Ravenna city Loggetta Lombardesca di Ravenna: inner room [12].



Figure 8. Castle of San Pietro in Cerro (PC).



*Figure 9. MIM – Museum in Motion, Castle of San Pietro in Cerro (PC).*



*Figure 10. Galleria degli Uffizi, Firenze [13].*



Figure 11. Loggia dei Lanzi, Piazza della Signoria, Firenze.

#### 4. Remarks

On the basis of investigations which are still underway, the laser scattering method for the measurement of particles in the air, presents remarkable advantages with regard to the gravimetric method established by current rules [14]. Such advantages relate to:

- its application in situations where the concentrations of pollutants are very low (this is the case with stations which are situated in rural or remote areas and confined areas such as museums, libraries, archives);
- the real-time measurement of PM10 – PM2.5 – PM1 concentrations and of inhalable, thoracic and breathable dusts without the use of foreign impactors;
- the real-time measurement of the number of particles for 8 different classes of sizes, without the use of foreign impactors;
- non sensitivity to foreign vibrations;
- no radioactive sources;
- very reliable;
- low maintenance [15].

Cooperation with the History and Methods Department for the Preservation of Cultural Heritage at the University of Bologna is also aimed at the definition and validation

CON.TEC Laser Scattering instruments by comparison with available instruments, responding to the analytical methods of Min. Dec. 60/2002, used in a measurement exercise near scrap-yards at Porto Torres in Sardegna.

In conclusion, the laser scattering method, although not responding to the analytical methods established in Min. Dec. 60/22, could constitute (if validated by the measurement exercise) a specifically significant piece of equipment in the provision of full information which is difficult to acquire with conservative instruments.

## Bibliography

- [1] LORUSSO S. 2000, *L'ambiente di conservazione dei beni culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [2] AGENZIA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (ANPA), *La qualità dell'aria*, <http://www.arpa.veneto.it/aria/pm10.htm>.
- [3] CECINATO A. 2004, *Polveri sospese in atmosfera: problema antico, problema nuovo*, 1° Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, Milano 13 maggio 2004, [http://www.disat.unimib.it/chimamb/PM2004/ORALI\\_pdf/cecinato.pdf](http://www.disat.unimib.it/chimamb/PM2004/ORALI_pdf/cecinato.pdf).
- [4] GIUDICI A. 2004, *Dalla valutazione della qualità dell'aria all'adozione di piani e programmi per il controllo del particolato atmosferico: situazione attuale e sviluppi*, 1° Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, Milano 13 maggio 2004, [http://www.disat.unimib.it/chimamb/PM2004/ORALI\\_pdf/giudici.pdf](http://www.disat.unimib.it/chimamb/PM2004/ORALI_pdf/giudici.pdf).
- [5] COMITATO SCIENTIFICO AGENZIA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (ANPA), *Scienza e ambiente: conoscenze scientifiche e priorità ambientali*, [http://www.apat.gov.it/site/\\_contentfiles/00135600/135607\\_documenti\\_2002\\_2.pdf](http://www.apat.gov.it/site/_contentfiles/00135600/135607_documenti_2002_2.pdf).
- [6] BIGGERI A., BELLINI P., TERRACINI B. (Ed.), *Metanalisi italiana degli studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico* MISA, Epidemiol. Prev. 2001, 25(2) suppl., 1-72.
- [7] LORUSSO S., NATALI A. 2004, *La qualità dell'aria in ambienti confinati: museo, biblioteca, archivio*, 1° Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, Milano 13 maggio 2004, [http://www.disat.unimib.it/chimamb/PM2004/ORALI\\_pdf/natali.pdf](http://www.disat.unimib.it/chimamb/PM2004/ORALI_pdf/natali.pdf).
- [8] LORUSSO S., NATALI A. 2005, *La qualità dell'aria in ambienti confinati*, Quaderni di Scienza della Conservazione 4/2004, 215-238.
- [9] LORUSSO S., MATTEUCCI C., NATALI A., PENTRELLA R., LOPARDI A. (2008). *Indagini chimico-fisiche e diagnostiche sugli apparati decorativi di Palazzo Rivera a L'Aquila. Materiali e strutture*, vol. 9-10, 108-128, ISSN: 1121-2373.
- [10] LORUSSO S., MATTEUCCI C., NATALI A. 2007, *Anamnesi storica, indagini analitico-diagnostiche e monitoraggio ambientale: alcuni casi di studio nel settore dei beni culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [11] <http://www.istitutopontevallina.it/alunni/leonardo/cenacolo.jpg>
- [12] <http://www.isc.mlib.cnr.it/Montelibretti/personali/platania/images/loggia.jpg>
- [13] <http://www.mrfs.net/trips/2004/Italy/Florence/uffizi.jpg>

[14] DM 60 "Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio" Suppl. n. 77 alla G.U. n. 87 del 13 aprile 2002.

[15] <http://www.conteng.it/>

### **Metodologia "laser scattering" per la misura del particolato nell'aria**

*Parole chiave:* CON.TEC Engineering, patrimonio culturale, polveri sottili, laser scattering

#### **1. Introduzione**

*È ben noto che gli effetti negativi sulla salute umana nonché le implicazioni sul clima, nell'ambito del fenomeno di inquinamento atmosferico, delle polveri fini (PM10, PM2,5) costituiscono una priorità [1-6].*

*Tuttavia, al fine di una corretta azione di conservazione e di prevenzione per quanto riguarda i beni culturali esposti e l'interazione delle suddette polveri con tali manufatti, è opportuno far presente come tale azione di alterazione/degradazione possa avvenire anche in ambienti confinati, quali musei, biblioteche e archivi [7-10].*

*In particolare la presenza di un'elevata quantità di polveri nelle aree ove sono posizionati affreschi, dipinti, sculture ed opere d'arte in genere, deve essere prontamente rilevata per consentire la prevenzione di eventuali situazioni di pericolo.*

*Nel presente lavoro si riportano alcune applicazioni, in corso di svolgimento in siti museali, dell'Unità portatile per il monitoraggio delle polveri fini (PM10-PM2,5-PM1 con diametri inferiori rispettivamente ai 10 µm, 2,5 µm, 1 µm) e la classificazione granulometrica del particolato atmosferico DustMonit messa a punto dalla CON.TEC Engineering (Figura1).*

*L'intento dello studio è quello di fornire una definizione più chiara ed affidabile sulla valutazione di tali polveri in ambienti "indoor".*

#### **2. L'Unità portatile per il monitoraggio delle polveri e la classificazione granulometrica del particolato atmosferico DustMonit**

*L'Unità DustMonit impiega il metodo di misura "laser scattering" che consente di misurare, visualizzare e registrare la concentrazione del particolato ambientale in modo semplice ed immediato, fino ad una rilevazione ogni 6 secondi. Questo costituisce una delle peculiarità più importanti dello strumento in quanto gli intervalli della rilevazione sono di gran lunga inferiori rispetto al metodo gravimetrico (che prevede la pesata di filtri opportunamente trattati).*

*L'analizzatore permette la misura contemporanea ed in tempo reale dei seguenti parametri:*

- PM10 – PM2,5 – PM1;

- conteggio delle particelle presenti nell'aria, divise in 8 classi granulometriche da 0,3  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ .

Vengono riportati lo schema (Figura 2) e una breve descrizione della metodologia di misura "laser scattering".

Una pompa a portata costante e controllata aspira l'aria attraverso una sonda a simmetria radiale e la convoglia in una camera dove le particelle trasportate vengono singolarmente investite da un fascio di luce laser.

L'energia riflessa da ogni particella, che è proporzionale alla sua dimensione, viene misurata da un fotodiode ad alta velocità che genera in uscita sia i segnali di conteggio sia quelli di caratterizzazione dimensionale.

Il software di sistema, messo a punto dalla CON.TEC Engineering, mette in relazione questi valori con l'unità di volume inviando sulla linea seriale RS232 un risultato finale nell'unità ingegneristica standard.

I grafici relativi alle rilevazioni effettuate permettono una visualizzazione in tempo reale della situazione relativa alle polveri PM10 (in rosso), PM2,5 (in blu), PM2,5 (in verde) (Figura 3) e la suddivisione in 8 classi granulometriche da 0,3  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$  (Figura 4).

Le misure delle concentrazioni delle polveri, visualizzate sia in forma grafica che tabellare, possono dare anche la valutazione della salubrità dei luoghi dove vengono effettuate.

I dati rilevati possono essere confrontati con i limiti di inquinamento accettabili secondo le normative vigenti.

La metodologia di misura a laser scattering è utilizzata anche da enti pubblici che eseguono il monitoraggio dell'inquinamento dell'aria.

Le misure, che possono anche essere effettuate per lunghi periodi di tempo (uno o più anni), sono memorizzate su adeguato supporto per consentirne la eventuale postelaborazione anche utilizzando i più comuni pacchetti informatici.

L'applicazione più comune di questo strumento è la valutazione, in tempo reale, di quanto la presenza del pubblico e l'inquinamento proveniente da fonti esterne influenzi la qualità dell'ambiente, al fine di attuare, con tempestività, le eventuali procedure di salvaguardia delle opere d'arte esposte. Tale applicazione non è possibile con il metodo gravimetrico.

Strumenti che si basano su questa metodologia sono stati utilizzati da molte Università e Centri di Ricerca ed hanno dato, in ogni circostanza, ottimi risultati in termini di facilità di utilizzo, affidabilità e precisione. Inoltre, la globalità dei risultati conseguiti ha sempre consentito una corretta ed efficace valutazione delle misure effettuate.

### **3. I siti oggetto di studio**

Le misure di particolato in ambito museale, con l'utilizzo di strumenti "laser scattering", sono già state effettuate presso il Cenacolo di Leonardo da Vinci, a Milano (Figura 5).

Nell'ambito di una collaborazione fra la CON.TEC Engineering e il Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali dell'Università di Bologna sono in corso di svolgimento alcune rilevazioni presso il Museo d'arte della città di Ravenna "Loggetta Lombardesca" (Figure 6-7) e il MIM – Museum in Motion al Castello di San Pietro in Cerro (PC) (Figure 8-9).

Inoltre rilevazioni con lo stesso strumento sono in essere all'interno di alcune sale della Galleria degli Uffizi di Firenze (Figura 10). In questa città lo strumento verrà impiegato per rilevazioni nella Loggia dei Lanzi in Piazza della Signoria (Figura 11).

I risultati delle indagini in corso di svolgimento e le opportune considerazioni saranno oggetto di ulteriori pubblicazioni.

### **4. Considerazioni**

Sulla base delle indagini ancora in corso di svolgimento, la metodologia "laser scattering" per la misura del particolato nell'aria, presenta notevoli vantaggi rispetto al metodo gravimetrico stabilito dalla normativa vigente (14). Tali vantaggi sono da ricondurre a:

- applicazione nelle situazioni in cui le concentrazioni degli inquinanti sono molto basse (questo è il caso di stazioni situate in zone rurali, remote o ambienti confinati quali musei, biblioteche, archivi);
- misura in tempo reale delle concentrazioni di PM10, PM2,5, PM1 e delle polveri inalabili, toraciche e respirabili senza l'utilizzo di impattori esterni;
- misura in tempo reale del numero di particelle per 8 diverse classi dimensionali, senza l'utilizzo di impattori esterni;
- non sensibilità a vibrazioni esterne;
- assenza nella strumentazione di sorgente radioattiva;
- elevata affidabilità;
- manutenzione praticamente inesistente [15].

La collaborazione con il Dipartimento di Storie e Metodi per la Conservazione dei Beni Culturali dell'Università di Bologna è finalizzata, anche, alla messa a punto e alla validazione della strumentazione Laser Scattering della CON.TEC mediante un confronto con la strumentazione, rispondente alle modalità analitiche del DM 60/2002, impiegata in una campagna di misura a Porto Torres in Sardegna presso siti di discarica.

In definitiva, la metodologia "laser scattering", pur non rispondente alle modalità analitiche stabilite dal DM 60/2002, potrebbe costituire (se validata dalla campagna di misura) una apparecchiatura particolarmente significativa nel fornire informazioni complete difficilmente acquisibili con strumentazione convenzionale.

## Summary

A description is given of the laser scattering method to measure PM10, PM2.5 and PM1 dusts in confirmed environments (museums, libraries, archives, art galleries, etc.). Such equipment presents many advantages, in comparison with those which are actually in use, not only from an analytic but also from a functional point of view.

## Riassunto

Si descrive il metodo "laser scattering" per la misura delle polveri PM10, PM2,5, PM1 negli ambienti confinati (musei, biblioteche, archivi, pinacoteche, ecc.). Tale apparecchiatura presenta molteplici vantaggi, nel confronto con quelle attualmente impiegate, dal punto di vista non solo analitico ma anche funzionale.

## Résumé

On décrit la méthode "laser scattering" pour le mesurage des poussières PM10, PM2,5, PM1 dans les milieux confinés (musées, bibliothèques, archives, pinacothèques, etc.). Cet appareillage présente de nombreux avantages, du point de vue non seulement analytique mais aussi fonctionnel, par rapport à celui qui est employé actuellement.

## Zusammenfassung

Es wird die Methode des "Laser Scattering" (Laserstreulichtanalyse) für die Messung von Stäuben PM10, PM2,5 und PM1 in geschlossenen Räumen (Museen, Bibliotheken, Archiven, Pinakotheken usw.) beschrieben. Dieses Gerät bietet vielfältige Vorteile gegenüber den derzeit eingesetzten, nicht nur unter analytischen, sondern auch unter funktionalen Gesichtspunkten.

## Resumen

Se describe el método del "laser scattering" para la medición de los polvos PM10, PM2.5, PM1 en los espacios culturales confinados (museos, bibliotecas, archivos, pinacotecas, etc.). Dicho dispositivo presenta varias ventajas con respecto a los métodos actualmente empleados, no sólo desde el punto de vista analítico, sino también desde el punto de vista funcional.

## Резюме

Описывается метод "лазерного рассеяния" для измерения порошков PM10, PM2.5, PM1 в замкнутых помещениях (музеи, библиотеки, архивы, картинные галереи, и т.п.). Эта аппаратура обладает многими преимуществами по сравнению с аппаратурой, используемой в настоящее время, не только с аналитической, но и функциональной точки зрения.