

L A QUALITÀ DELL'ARIA IN AMBIENTI CONFINATI

Salvatore Lorusso, Andrea Natali

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

1. Premessa

È ben noto che gli effetti negativi sulla salute umana nonché le implicazioni sul clima, nell'ambito del fenomeno di inquinamento atmosferico, del Particolato Totale Sospeso (PTS) e, in particolare, delle polveri fini (PM 10, PM 2,5) costituiscono una priorità. 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 biblioteche e archivi.

Nel presente lavoro sono riportati i risultati di alcune indagini relative al prelievo ed alla quantificazione del Particolato Totale Sospeso (PTS) presente in alcuni ambienti confinati, effettuate con un prelevatore fisso di polveri e condotte allo scopo di monitorare il sistema: manufatto-biota-ambiente. A tal riguardo sono state effettuate anche misurazioni della frazione PM 10 delle polveri con un prelevatore portatile in dotazione all'operatore che si sposta secondo le necessità lavorative con lo scopo di misurare la quantità di polveri inalabili da un qualsiasi fruitore dell'Archivio durante lo svolgimento della normale attività lavorativa: si è ritenuto opportuno infatti conoscere non solo la quantità di PTS che si deposita sui documenti conservati ma anche quella che può essere inalata dall'operatore.

Ci si prefigge così di fornire una definizione più chiara ed affidabile sulla valutazione di tale inquinante in ambienti "indoor".

Per le indagini sono stati scelti alcuni archivi e biblioteche che rappresentano unità culturali tipologicamente e geograficamente emblematiche nella dislocazione nazionale:

- ☑ l'Archivio di Stato di Roma (fig. 1)
- ☑ l'Archivio di Stato di Firenze (fig. 2)
- ☑ l'Archivio di Stato di Rimini (fig. 3).

La scelta dei siti di indagine ha tenuto conto delle diverse situazioni logistiche:

- aree diverse in estensione (grandi nel caso di Roma e Firenze, limitata in riferimento a Rimini);
- aree diverse in collocazione (in zone interne per i primi due Archivi, in zona limitrofa al mare per il terzo);
- aree diverse in riferimento alla loro localizzazione urbana (con traffico autoveicolare intenso per gli Archivi di Roma e Firenze, inesistente per quello di Rimini).

Sono stati considerati, inoltre, gli aspetti collegati all'atavicità (Archivi di Roma e Rimini) e/o modernità (Archivio di Firenze) delle strutture architettoniche, in quanto tali contenitori dei beni costituiscono di per sé una variabile significativa nell'ambito delle interazioni dei fattori ambientali con i materiali costituenti i suddetti manufatti.

I risultati ottenuti sono confrontati con quelli indicati e stabiliti dalla normativa vigente, rispettivamente per la conservazione dei documenti grafici, per quanto riguarda il Particolato Totale Sospeso (PTS) e per la salvaguardia della salute umana [1-6].



Figura 1. Archivio di Stato di Roma.



Figura 2. Archivio di Stato di Firenze.



Figura 3. Archivio di Stato di Rimini.

Al fine di fornire una immediata valutazione delle diverse situazioni presenti nei tre Archivi, si è ritenuto opportuno stabilire una sequenza di valori di gravità (da 0 a 3) evidenziati mediante un indice di attenzione (IA):

- **valore 0 = valore di attenzione nullo:** la situazione *al momento* non richiede controlli né approfondimenti strumentali;
- **valore 1 = valore di attenzione medio:** la situazione richiede controlli periodici, anche se *al momento* non vi sono segnali di pericolosità;
- **valore 2 = valore di attenzione elevato:** si richiedono analisi ulteriori;
- **valore 3 = valore di attenzione elevatissimo:** si richiedono interventi immediati, data la criticità della situazione rilevata.

La suddetta indicazione (IA) conduce, quando le indagini analitiche risultano significative, alla formulazione di un indice di rischio (IR) secondo tale sequenza crescente:

- **valore 0 = condizioni di rischio nullo**
- **valore 1 = condizioni di rischio possibile:** interventi di mitigazione/attenuazione
- **valore 2 = condizioni di rischio grave:** interventi urgenti di attenuazione
- **valore 3 = condizioni di rischio gravissimo:** pronto intervento.

Il quadro totale di tali indici permetterà, inoltre, di indirizzare gli eventuali interventi verso le situazioni più gravi [7].

2. Il particellato totale sospeso

Prima di descrivere la sperimentazione condotta e indicare la metodologia impiegata per il prelievo e la quantificazione del particellato totale sospeso (PST) si ritiene opportuno fornire alcune indicazioni relative alle polveri totali sospese e alle problematiche ad esse collegate dal punto di vista della salute umana, dell'ambiente e, per quanto qui compete, di quei fenomeni di alterazione/degradazione che interessano i beni culturali e, in particolare, i documenti grafici.

Il particellato totale sospeso (PTS) è costituito da particelle solide volatili e da goccioline liquide sospese nell'aria con dimensioni comprese tra 0,005 μm e 100 μm [8]. Queste particelle hanno caratteristiche e composizione chimica variabilissima e correlata alle fonti di provenienza riconducibili a cause naturali (vulcani, azioni del vento), a traffico autoveicolare, a insediamenti industriali (fonderie, cave, cementifici, unità produttive), a impianti termici o a usura di materiali in genere (gomme, freni), etc.

Le sostanze costituenti (quali: quarzo, berillo, asbesto, mercurio, piombo, cadmio, rame, selenio) in determinate concentrazioni e/o a seguito di fenomeni di bioaccumulo, possono costituire un serio pericolo per il biota.

Le particelle, con diametro maggiore di 5-10 μm , sedimentano abbastanza rapidamente e, comunque, sono di solito trattenute dalle vie aeree superiori; le particelle più fini, con diametro inferiore a 5 μm , possono invece penetrare negli alveoli polmonari, dove possono esplicare azioni lesive temporanee o permanenti.

Queste piccole particelle restano in sospensione nell'aria in funzione delle velocità di sedimentazione, legata alla densità e alla turbolenza dell'aria. Le particelle più piccole, oltre a penetrare più facilmente nel nostro organismo hanno anche la caratteristica di restare più a lungo sospese nell'aria.

Un centimetro cubo di aria urbana contiene mediamente 200.000 nuclei di diametro inferiore a 5 μm , contro gli 8.000 contenuti nell'aria pura. Negli ultimi 30 anni il contenuto medio di polveri nell'atmosfera italiana è aumentato fino a 3 volte.

In tab. 1 è riportata la composizione teorica dell'aria pura secca a livello del mare.

Tabella 1. Composizione teorica dell'aria pura, secca, a livello del mare [8].

<i>Componente</i>	<i>Formula</i>	<i>Concentrazioni</i>	
Azoto	N_2	78.09	% volume
Ossigeno	O_2	20.95	% volume
Argon	Ar	0.93	% volume
Anidride carbonica	CO_2	0.03	% volume
Neon	Ne	18.00	ppm
Elio	He	5.2	ppm
Metano	CH_4	1.5	ppm
Kripto	Kr	1.0	ppm
Idrogeno	H_2	0.5	ppm
Xeno	Xe	0.08	ppm
Ozono	O_3	0.07	ppm
Ammoniaca	NH_3	0.01	ppm
Iodio	I_2	0.01	ppm
Biossido di azoto	NO_2	0.001	ppm
Biossido di zolfo	SO_2	0.0002	ppm
Monossido di azoto	NO	0.0002	ppm
Acido solfidrico	H_2S	0.0002	ppm
Monossido di carbonio	CO	Tracce	
Altre sostanze		Non rilevabili	

Gli effetti sulla vegetazione sono legati alle caratteristiche igroscopiche delle polveri, che possono formare, sulla superficie delle foglie, una crosta non dilavabile dalle piogge, inibendo il processo di fotosintesi e lo sviluppo delle piante. Inoltre, se il particolato depositato contiene composti chimici pericolosi, questi possono causare danni diretti ed indiretti alle piante stesse od agli animali che di esse si cibano.

Difficile risulta definire, salvo casi in cui si abbiano serie storiche di misurazioni, il rapporto danno/tempo. Sui materiali il danno più immediatamente visibile è costituito dal depositarsi dello sporco sulla superficie esposta, con necessità di frequenti pulizie che possono danneggiare ed indebolire i materiali stessi, come nel caso dei tessuti.

Si fa presente che le suddette sostanze hanno la possibilità di interagire con i materiali a concentrazioni inferiori a quelle che in genere si considerano dannose per la salute umana e con tempi di esposizione estremamente lunghi. Il deposito dello sporco si acutizza nel caso di materiali elettrostatici, che attirano le particelle, in genere, catramose e collose. Il danneggiamento a metalli, edifici, monumenti e vernici è quindi enfatizzato dalla corrosione propria delle sostanze assorbite in presenza di umidità.

Si hanno infine effetti sul clima, a seguito dell'azione di dispersione ed assorbimento delle radiazioni solari, con possibilità di formazione di nebbie per condensazione dell'acqua sulle particelle.

Anche negli ambienti interni ("indoor") risultano presenti spesso quantità significative di polveri: le concentrazioni risentono direttamente della situazione esterna ed anche degli apporti che possono venire da sorgenti interne (presenza e attività umana).

Per quanto attiene ai documenti grafici conservati all'interno di un archivio o di una biblioteca, una elevata concentrazione di PTS nell'aria causa fenomeni di alterazione/degradazione in particolare in ambienti con elevata percentuale di umidità relativa. È opportuno far presente che tali particelle possono essere, inoltre, il veicolo per il trasporto di altre sostanze inquinanti: ad esempio del ferro che causa ingiallimento sulla pergamena [9-10].

2.1. Metodiche di campionamento e di analisi del particolato totale sospeso

La normativa nazionale attualmente in vigore indica le metodiche di campionamento e di analisi degli inquinanti dell'aria ambiente. Tuttavia il Decreto Legislativo n. 351 del 4/8/1999, che ha recepito la direttiva comunitaria 96/62/CE (*direttiva quadro sulla qualità dell'aria ambiente*), nell'articolo 13 – abrogazione di norme, abroga tutti questi metodi a decorrere dalla data di entrata in vigore dei recepimenti delle "direttiva figlie" relative ai diversi inquinanti. Infatti la direttiva quadro stabilisce che, per ciascuno degli inquinanti

principali dell'aria ambiente, il Consiglio Europeo adotti una specifica direttiva derivata o "figlia". Le varie direttive "figlie" forniscono indicazioni sui nuovi metodi che sarà necessario adottare in futuro.

Le metodiche di campionamento ed analisi qui indicate sono generalmente applicabili in zone con livello d'inquinamento medio-alto, cioè per stazioni di rilevamento situate nelle città o in prossimità d'impianti industriali. Non sono invece applicabili nelle situazioni in cui le concentrazioni degli inquinanti siano molto basse, tali da richiedere metodi di campionamento ed analisi più sensibili. Questo è il caso di stazioni situate in zone rurali e/o remote [11-14].

2.2. Definizioni

Ai sensi del D.M. 25 novembre 1994 n. 159 (allegato II) i metodi di campionamento e di analisi sono così definiti:

- Metodo di riferimento: "Una metodica già collaudata e che dà sufficienti garanzie di precisione ed accuratezza ai fini degli obiettivi indicati dal Decreto. Qualora la metodica sia stata proposta a livello comunitario, essa sarà accettata come metodo di riferimento. L'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL), l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e l'Istituto per l'Inquinamento Atmosferico del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) hanno il compito di fornire le raccomandazioni tecniche e tutte le informazioni utili alla buona realizzazione delle misure."
- Metodo equivalente: "Un metodo in grado di fornire la misura dell'inquinante considerato, confrontabile con il metodo di riferimento, seguendo le norme di buona tecnica."

2.3. Riferimenti legislativi relativi al prelievo e alla quantificazione del particolato totale sospeso

Nella tabella che segue (tab. 2) viene riportata una scheda identificativa contenente la descrizione dei metodi di campionamento, i riferimenti legislativi attualmente in vigore e di futura attuazione relativa al particolato totale sospeso.

Nel suddetto D.M. si fa presente che le metodiche di campionamento ed analisi indicate sono generalmente applicabili in zone con livello d'inquinamento medio-alto, cioè per stazioni di rilevamento situate all'esterno in zone urbane o in prossimità d'impianti industriali. Non sono invece applicabili nelle situazioni in cui le concentrazioni degli inquinanti siano molto basse, tali da richiedere metodi di campionamento ed analisi più sen-

Tabella 2. Riferimenti legislativi relativi al prelievo e alla quantificazione del particolato totale sospeso.

Sostanza	Riferimento di legge attualmente in vigore	Metodo di riferimento in vigore	Metodo equivalente in vigore	Metodo di riferimento di futura applicazione
PST	DPCM 28 marzo 1983, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale del 28 maggio 1983, n. 145 e modificato successivamente dal DPR 24 maggio 1988, n. 203 all'appendice 3 dell'allegato III (come da art. 22 comma 1 del DPR)	Il materiale particolare viene raccolto su filtri a membrana microporosi o su filtri in fibra di vetro (con pompa che consenta di regolare e mantenere la portata di aspirazione a 20 litri/minuto \pm 5% con filtri a fibra di vetro e \pm 25% con filtri a membrana) per un tempo di prelievo di 24 ore; la determinazione viene fatta per gravimetria e riferita al volume di aria filtrato, riportato alle condizioni di pressione e temperatura prescritte (T 25 °C, P 1013 millibar) (i filtri devono essere condizionati prima e dopo il prelievo per l'umidità)	Non è individuato nessun metodo equivalente	Il metodo di riferimento in uso è abrogato dall'articolo 13 comma 2 lettera d) del Decreto Legislativo n. 351, con decorrenza dalla data di entrata in vigore del recepimento della "Direttiva Figlia" 1999/30/CE del 22/4/99. Il metodo di riferimento, in base alla direttiva 1999/30/CE del 22/4/99, resta in vigore fino al 1° gennaio 2005, anno in cui lo standard deve essere il PM10 (art. 9 paragrafo 1). Se lo Stato membro utilizza lo standard PM10 dalla data di entrata in vigore della Direttiva (19 luglio 2001), al fine di valutare il rispetto del valore limite per le PST fino al 1° gennaio 2005, i dati raccolti devono essere moltiplicati per il fattore 1,2

sibili o tempi di prelievo più lunghi. Questo è il caso di stazioni situate in zone rurali e/o remote: a tal riguardo si ritiene che l'ambiente confinato oggetto della nostra sperimentazione – ovvero l'ambiente in cui sono conservati i documenti grafici – rientri tra questi.

Ne deriva che, essendo la quantità di PST rilevata molto bassa e dell'ordine di misura della sensibilità dello strumento¹, si è ritenuto opportuno, dopo precedenti sperimentazioni effettuate nella Biblioteca Classense di Ravenna, effettuare il prelievo per un periodo superiore ai 10 giorni. Inoltre, essendo i siti oggetto d'indagine ad una altitudine inferiore ai 700 m s.l.m., la variazione di pressione non è ritenuta indicativa.

2.4. Riferimenti normativi relativi alle concentrazioni di particolato totale sospeso per la conservazione di documenti grafici

Per quanto riguarda i riferimenti normativi inerenti alle concentrazioni di particolato totale sospeso per la conservazione dei documenti grafici, si prende in considerazione la norma UNI 10586 "Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti" del settembre 1997 [1].

La norma stabilisce la concentrazione massima di PTS ammissibile per ciascun locale dove vengano conservati e/o consultati documenti grafici. Tale concentrazione deve essere inferiore a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3. La sperimentazione relativa al particolato totale sospeso

Per effettuare il prelievo del particolato totale sospeso è stato utilizzato un prelevatore di polveri Tecora modello Bravo alimentato ad energia elettrica e filtri a membrana in policarbonato 47 mm con porosità $\varnothing 0,4 \mu\text{m}$.

Per effettuare il prelievo del particolato sospeso totale è stato utilizzato un prelevatore di polveri Tecora modello Bravo alimentato ad energia elettrica e filtri a membrana in policarbonato 47 mm con porosità $\varnothing 0,4 \mu\text{m}$.

Prima di effettuare la pesata, tali filtri sono stati portati a peso costante in stufa a 105°C per 2 ore e conservati in essiccatore per 30'.

La pesata è stata effettuata con bilancia analitica digitale alla quarta cifra decimale.

Il prelevatore è stato programmato con portata di aspirazione di 20 litri/minuto.

La quantificazione delle polveri relative ad ogni singolo filtro è rapportata alla quantità di aria filtrata che dipende, oltre che dalla portata del prelevatore, dal periodo del prelievo.

3.1. Il prelievo e la quantificazione del particolato totale sospeso nell'Archivio di Stato di Roma

In tab. 3 sono riportati i risultati dei rilevamenti effettuati nel locale di deposito denominato "Soffittoni" dell'Archivio di Stato di Roma, uno dei locali dove sono collocati i documenti grafici e, nel caso specifico, le mappe dei territori dello Stato Pontificio (fig. 4).

Si fa presente che il percorso, a cui sono sottoposti i documenti da consultare, prevede un passaggio attraverso un porticato aperto verso il cortile interno del complesso di S. Ivo alla Sapienza. Si è, quindi, ritenuto opportuno effettuare la rilevazione anche in questo ambiente (tab. 4) (fig. 5).

Tabella 3. Archivio di Stato di Roma, "Soffittoni": quantificazione del particolato sospeso totale.

Filtro prima del prelievo (g)	Filtro dopo il prelievo (g)	Polveri (g)	Note	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,0150	0,0204	0,0054	<p>Prelievo effettuato dal 23-1 al 2-2-2004 nel locale di deposito denominato "Soffittone" dell'Archivio di Stato di Roma.</p> <p>Il prelievo è durato circa 248 h.</p> <p>La quantità di aria filtrata ($298,311 \text{ m}^3$), riportata alle condizioni prescritte, è $303,816 \text{ m}^3$</p>	17,77



Figura 4. Archivio di Stato di Roma, "Soffittoni": prelievo del particolato sospeso totale.

In riferimento ai risultati ottenuti nel locale di deposito denominato "Soffittone" e nel Porticato borrominiano dell'Archivio di Stato di Roma e dal confronto con i limiti stabiliti dalla normativa vigente, è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- le concentrazioni di PTS presenti nel deposito rientrano nei limiti stabiliti dalla normativa;
- le concentrazioni di PTS presenti nel porticato sono superiori ai limiti stabiliti dalla normativa.

Tabella 4. Archivio di Stato di Roma, "Porticato borrominiano": quantificazione del particolato sospeso totale.

Filtro prima del prelievo (g)	Filtro dopo il prelievo (g)	Polveri (g)	Note	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,0152	0,0158	0,0006	<p>Prelievo effettuato il 6-2-2004 nel porticato dell'Archivio di Stato di Roma. Il prelievo è durato circa 6 h. La quantità di aria filtrata (7,039 m³), riportata alle condizioni prescritte, è 7,334 m³</p>	81,81



Figura 5. Archivio di Stato di Roma, "Porticato borrominiano": prelievo del particolato sospeso totale.

Si è pervenuti, quindi, a stabilire un **indice di rischio = 1 ovvero condizioni di rischio possibile**.

A tal riguardo si suggeriscono possibilità alternative per i documenti che vengono portati per la consultazione dai depositi fino alla Sala Studio: infatti o si mantengono all'interno dell'edificio in modo, anche, da ridurre le escursioni termoisometriche o, se non è possibile, si proteggono con carrelli di trasporto chiusi o schermati opportunamente.

3.2. Il prelievo e la quantificazione del particolato totale sospeso nell'Archivio di Stato di Firenze

In tab. 5 sono riportati i risultati dei rilevamenti effettuati nel locale di deposito denominato "Stanza 318" dell'Archivio di Stato di Firenze (fig. 6).

In riferimento ai risultati ottenuti nella Sala 318 dell'Archivio di Stato di Firenze e dal confronto con i limiti stabiliti dalla normativa vigente, è possibile trarre le seguenti considerazioni:

Tabella 5. Archivio di Stato di Firenze, "Stanza 318": quantificazione del particolato sospeso totale.

Filtro prima del prelievo (g)	Filtro dopo il prelievo (g)	Polveri (g)	Note	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,0151	0,0204	0,0053	<p>Prelievo effettuato nella Stanza 318 dell'Archivio di Stato di Firenze dal 10 al 23-2-2004.</p> <p>Il prelievo è durato circa 317 h.</p> <p>La quantità di aria filtrata ($380,859 \text{ m}^3$), riportata alle condizioni prescritte, è di $390,6918 \text{ m}^3$</p>	13,56



Figura 6. Archivio di Stato di Firenze, "Sala 318": prelievo del particolato sospeso totale.

- le concentrazioni di PTS presenti nella Sala rientrano nei limiti stabiliti dalla normativa. Si è pervenuti, quindi, a stabilire un **indice di rischio 0 = condizioni di rischio nullo**.

3.3. Il prelievo e la quantificazione del particolato totale sospeso nell'Archivio di Stato di Rimini

In tab. 6 sono riportati i risultati dei rilevamenti effettuati nel locale di deposito al piano terreno dell'Archivio di Stato di Rimini (fig. 7).

Tabella 6. Archivio di Stato di Rimini, locale di deposito al piano terreno: quantificazione del particolato sospeso totale.

Filtro prima del prelievo (g)	Filtro dopo il prelievo (g)	Polveri (g)	Note	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,0149	0,0163	0,0014	<p>Prelievo effettuato nel locale di deposito al piano terra dell'Archivio di Stato di Rimini dal 12 al 17-11-2003.</p> <p>Il prelievo è durato circa 128 h.</p> <p>La quantità di aria filtrata ($153,835 \text{ m}^3$), riportata alle condizioni prescritte, è di $157,806 \text{ m}^3$</p>	8,87



Figura 7. Archivio di Stato di Rimini, deposito al piano terreno: prelievo del particolato sospeso totale.

In riferimento ai risultati ottenuti nel deposito al piano terreno dell'Archivio di Stato di Rimini e dal confronto con i limiti stabiliti dalla normativa vigente, è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- le concentrazioni di PTS presenti nella Sala nel periodo monitorato rientrano nei limiti stabiliti dalla normativa.

Si è pervenuti, quindi, a stabilire un **indice di rischio 0 = condizioni di rischio nullo**.

4. La sperimentazione relativa alla quantificazione del PM 10

Le precedenti indagini, effettuate con prelevatore fisso, sono finalizzate a misurare la quantità di polveri sospese nei locali di deposito dei tre Archivi, allo scopo di confrontare questi dati con quelli stabiliti dalla normativa vigente relativa ai documenti grafici. Le seguenti indagini, eseguite con un prelevatore portatile modello Gilair II (fig. 8) in dotazione all'operatore che si sposta secondo le necessità lavorative, hanno, invece, lo scopo di misurare la quantità di polveri inalabili da un qualsiasi fruitore dell'Archivio durante lo svolgimento della normale attività lavorativa: è opportuno infatti conoscere non solo la quantità di PTS che si deposita sui documenti conservati ma anche quella che può essere inalata dall'operatore.



Figura 8. Prelevatore portatile modello Gilair II.

Il prelevatore utilizzato è azionato da un sistema di batterie ricaricabili e può essere a piacimento portato con un marsupio o fissato alla cintura per mezzo di un gancio metallico. Il suo peso limitato (inferiore agli 850 grammi), le dimensioni ridotte (12 cm di lato, 14 cm di altezza e 6 cm di profondità), la bassa rumorosità, la semplicità di accensione/spengimento e di ricarica dello strumento non ostacolano la normale attività lavorativa dell'operatore. Sulla testa di prelievo, che deve essere posizionata in prossimità delle vie respiratorie, è inserito un filtro in policarbonato con diametro di 25 mm.

Lo strumento è stato applicato ad alcuni componenti del personale facente parte degli Archivi: in particolare a quei dipendenti che su richiesta, forniscono ai richiedenti i documenti oggetto di consultazione. Si è ritenuto che tale attività sia la più esposta al rischio di inalazione di polveri.

Per quanto riguarda la sperimentazione, si è fatto riferimento a quella precedentemente descritta per il prelevatore fisso. Tuttavia, dal momento che la quantità di polveri filtrate è limitata (le PM 10 sono una frazione delle polveri totali), la portata dello strumento è ridotta (fino a 4 litri/minuto) e, d'altra parte, vi è l'impossibilità di eseguire il prelievo per un lungo periodo, si è ritenuto opportuno utilizzare per la pesata una bilancia analitica digitale alla quinta cifra decimale.

I limiti del suddetto inquinante sono indicati nel DM 60 dell'aprile 2002 *“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) (tab. 7) [15]. Si fa presente che la normativa fa riferimento a rilevazioni annuali di PM10 registrate in centraline fisse poste in ambiente esterno.

La sperimentazione effettuata, anche se significativa stante l'affidabilità della strumentazione e della metodologia seguita, non risponde a quanto stabilito dalla normativa per quanto riguarda sia la durata del prelievo (alcune ore) sia la posizione del prelievo (operatore in continuo movimento). Ne deriva, quindi, che il confronto con i valori per la protezione della salute umana è da ritenere soltanto indicativo.

4.1. Il prelievo e la quantificazione del PM 10 nell'Archivio di Stato di Roma

In tab. 8 sono riportati i risultati della frazione PM 10 delle polveri raccolte da un operatore nella normale attività lavorativa nell'Archivio di Stato di Roma.

In riferimento ai risultati ottenuti e dal confronto con i limiti stabiliti dalla normativa vigente, si deduce che [16-19]:

Tabella 7. Valori limite per il materiale particolato (PM10).

FASE 1	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
I. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³ PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile	50% del valore limite, pari a 25 µg/m ³ , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m ³ PM10	20% del valore limite, pari a 8 µg/m ³ , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
FASE 2 (*)	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
I. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m ³ PM10 da non superare più di 35 volte per anno civile	Da stabilire in base ai dati. in modo che sia equivalente al valore limite della fase I	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	20 µg/m ³ PM10	10 µg/m ³ al 1° gennaio 2005 con riduzione ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
(*) Valori limite indicativi da rivedere con successivo decreto sulla base della futura normativa comunitaria.				

Tabella 8. Quantificazione della frazione PM 10 delle polveri misurate nell'Archivio di Stato di Roma.

Filtro prima del prelievo (g)	Filtro dopo il prelievo (g)	Polveri (g)	Note	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,01868	0,01879	0,00011	<p>Prelievo effettuato dal personale dal 30-3 al 7-4-2004 durante le ore quotidiane lavorative (dalle ore 9:00 alle ore 16:00). Il prelievo è durato 2854' pari a circa 48 h.</p> <p>La quantità di aria filtrata è 9,214 m³. La temperatura media durante il prelievo è stata di 21,3°C pari a 294,45°K.</p> <p>Il volume riportato alle condizioni prescritte (T = 273°K; P 1013 millibar) è pari a 8,547 m³.</p>	12,98

– le concentrazioni di PM 10 rientrano nei limiti stabiliti dalla normativa.

Si è pervenuti, quindi, a stabilire un **indice di rischio 0 = condizioni di rischio nullo**.

4.2. Il prelievo e la quantificazione del PM 10 nell'Archivio di Stato di Firenze

In tab. 9 sono riportati i risultati a seguito del prelievo e della quantificazione della frazione PM 10 delle polveri raccolte da un operatore nella normale attività lavorativa nell'Archivio di Stato di Firenze.

Tabella 9. Quantificazione della frazione PM 10 delle polveri misurate nell'Archivio di Stato di Firenze.

Filtro prima del prelievo (g)	Filtro dopo il prelievo (g)	Polveri (g)	Note	PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0,01775	0,01796	0,00021	<p>Prelievo effettuato dal personale dal 9-6 all'11-6-2004 durante le ore quotidiane lavorative. Il prelievo è durato 1385' pari a circa 23 h.</p> <p>La quantità di aria filtrata è 6,216 m³. La temperatura media durante il prelievo è stata di 23,6°C pari a 296,6°K.</p> <p>Il volume riportato alle condizioni prescritte (T = 273°K; P 1013 millibar) è pari a 5,271 m³.</p>	36,70

In riferimento ai risultati ottenuti e dal confronto con i limiti stabiliti dalla normativa vigente, ne deriva che:

- le concentrazioni di PM 10 registrate nel periodo monitorato rientrano nei limiti stabiliti dalla normativa.

Si è pervenuti, quindi, a stabilire un **indice di rischio = 0 ovvero condizioni di rischio nullo**.

4.3. Il prelievo e la quantificazione del PM 10 nell'Archivio di Stato di Rimini

In tab. 10 sono riportati i risultati a seguito del prelievo e della quantificazione della frazione PM 10 delle polveri raccolte da un operatore nella normale attività lavorativa nell'Archivio di Stato di Rimini.

In riferimento ai risultati ottenuti e dal confronto con i limiti stabiliti dalla normativa vigente, si deduce che:

- le concentrazioni di PM 10 registrate nel periodo monitorato si avvicinano ai limiti stabiliti dalla normativa.

Si è pervenuti, quindi, a stabilire un **indice di rischio = 1 ovvero condizioni di rischio possibile**.

A tal riguardo si suggerisce di effettuare dei controlli periodici e, nel caso tali controlli confermino la suddetta situazione, effettuare una ricerca al fine di evidenziare le cause che, vista l'ubicazione dell'Archivio in un'area non particolarmente inquinata (zona a traffico limitato), potrebbero essere di natura endogena.

Tabella 10. Quantificazione della frazione PM 10 delle polveri misurate nell'Archivio di Stato di Rimini.

<i>Filtro prima del prelievo (g)</i>	<i>Filtro dopo il prelievo (g)</i>	<i>Polveri (g)</i>	<i>Note</i>	<i>PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>
0,01747	0,01767	0,0002	<p>Prelievo effettuato dal personale dal 29-4 al 5-5-2004 durante le ore quotidiane lavorative. Il prelievo è durato 1483' pari a circa 24 h.</p> <p>La quantità di aria filtrata è 4,449 m³.</p> <p>La temperatura media durante il prelievo è stata di 21,5°C pari a 294,5°K.</p> <p>Il volume riportato alle condizioni prescritte (T = 273°K; P 1013 millibar) è pari a 4,124 m³.</p>	48,49

5. Conclusione

La sperimentazione effettuata in riferimento alla qualità dell'aria in ambienti confinati ha inteso:

- a) valutare le condizioni di conservazione dei documenti grafici collocati all'interno delle unità culturali in quanto la qualità dell'aria e, in particolare, la concentrazione di polveri totali sospese, rappresentano un fattore di degrado per tali manufatti;
- b) valutare le condizioni di vita e di lavoro all'interno di ambienti confinati, quali Archivi e Biblioteche, non considerati dalle vigenti normative e, quindi, non oggetto di attenzione da parte delle autorità sanitarie;
- c) fornire indicazioni sulle cause che possono determinare situazioni di rischio: a tal riguardo sono stati scelti archivi ubicati in diverse situazioni geograficamente emblematiche nella dislocazione nazionale;
- d) valutare se gli aspetti collegati all'atavicità e/o modernità delle strutture architettoniche costituiscano di per sé una variabile significativa nell'ambito delle interazioni dei fattori ambientali con i materiali costituenti i manufatti conservati.

In riferimento alle suddette finalità si possono trarre le seguenti conclusioni:

- le concentrazioni delle polveri sospese totali registrate nei depositi dei tre Archivi sono contenute e rientrano nei limiti stabiliti dalle normative sia per la salute umana che per la conservazione dei documenti grafici;
- le diverse situazioni logistiche e l'atavicità e/o modernità delle strutture architettoniche non sembrano influire sulla qualità dell'aria all'interno delle diverse unità culturali.

Ulteriore approfondimento dovrebbe riguardare la sperimentazione relativa alla quantificazione della frazione PM10 delle polveri totali sospese, cioè delle polveri che inala un operatore che svolge la normale attività lavorativa spostandosi all'interno dell'Archivio. Tale sperimentazione, come sottolineato in precedenza, non risponde a quanto stabilito dalla normativa vigente: tuttavia il confronto dei valori registrati durante la sperimentazione con i valori per la salvaguardia della salute umana fornisce un'indicazione sulla concentrazione di polveri sottili all'interno dei tre Archivi.

Per quanto riguarda l'Archivio di Stato di Rimini, dove i valori registrati durante la sperimentazione si avvicinano ai limiti stabiliti dalla normativa, si suggerisce di effettuare una rilevazione della durata di un anno evidenziando le cause che determinano tale situazione. Si fa presente che l'origine di tale frazione di polveri, da considerarsi la più pericolosa per la salute umana in quanto causa di enfisema, irritazioni respiratorie, cardiopatie

[20], può essere, in ambienti esterni, sia naturale (suolo, sospensioni marine, emissioni vulcaniche, spore) che antropica (motori a combustione, impianti industriali, impianti per riscaldamento civili). D'altra parte le principali sorgenti di particolato negli ambienti indoor sono costituite dagli apparati di combustione e dal fumo di tabacco, mentre altre sorgenti secondarie sono: gli spray, i fumi degli alimenti cucinati, i batteri e le spore, pollini, secrezioni essiccate di animali domestici, etc. Particelle più grossolane provengono essenzialmente dall'esterno (polveri, frammenti biologici, muffe) attraverso il trasporto umano, la deposizione e il successivo risollevarlo [21-24]. A tal riguardo si consiglia di seguire nel tempo le abitudini dei dipendenti dell'archivio durante lo svolgimento delle attività lavorative e verificare il rispetto delle normative antifumo o, nel caso, munire l'Archivio di sistemi di aerazione forzata.

In conclusione, si fa presente nell'ambito delle indagini svolte la necessità di effettuare ulteriori approfondimenti in quanto, se per gli ambienti esterni le rilevazioni in continuo forniscono in tempo reale la situazione relativa alle concentrazioni degli inquinanti con la possibilità di impiegare gli opportuni provvedimenti per la salvaguardia della salute umana, per quanto riguarda gli ambienti interni, in particolare quegli ambienti dove non si svolgono attività ritenute dannose sia per la salute umana che per la conservazione dei manufatti, le rilevazioni sono occasionali. Si fa riferimento in questi casi ai valori esterni senza tener conto delle peculiarità delle situazioni: è il caso degli Archivi di Stato di Roma e Firenze, ubicati in prossimità di grandi arterie di scorrimento veicolare e in aree a grande tasso di urbanizzazione, dove sono stati rilevati valori contenuti; ma è anche il caso dell'Archivio di Stato di Rimini nel quale sono stati rilevati valori di PM10 elevati in un edificio-contenitore ubicato nel centro storico di una piccola città in un'area a basso scorrimento veicolare.

Ne deriva che per quanto riguarda la qualità dell'aria in ambienti confinati è opportuno valutare le condizioni ambientali nell'area dove sorge l'edificio-contenitore di beni culturali, ma è altrettanto importante monitorare ogni ambiente del suddetto edificio in quanto in ogni locale possono sussistere delle cause che possono originare tali polveri.

Note

¹ La sensibilità di uno strumento è costituita dalla più piccola variazione della grandezza che lo strumento è in grado di misurare generando uno spostamento apprezzabile sulla scala.

² Le condizioni prescritte (25°C e 1013 millibar) fanno riferimento soltanto alla quantificazione del Particellato Sospeso Totale. Per quanto riguarda la frazione PM 10 delle suddetto Particellato, che è anch'essa oggetto di indagine nella presente ricerca, si fa riferimento invece al DM 60 dell'apri-

le 2002: in questo caso le condizioni prescritte sono 0°C per la temperatura e a 1013 millibar per la pressione. Tali valori sono stati scelti in quanto rappresentativi della situazione climatica europea alla quale si devono ricondurre tutte le indagini relative a questo parametro.

In ogni caso la formula per il calcolo del volume riportato alle condizioni prescritte, che deriva dalla legge dei gas perfetti, è la seguente:

$$v \text{ (m}^3\text{)} = \frac{V_1 \cdot P \cdot (273 + T)}{1013 \cdot (273 + t)}$$

dove:

V = volume d'aria prelevato, riportato a 25°C e 1013 millibar, in m³;

V_1 = volume d'aria prelevato dedotto dalla lettura del contatore, in m³;

P = pressione atmosferica media durante il prelievo espressa in millibar (si fa presente che tale grandezza influisce in minima parte sulla determinazione del volume prelevato tanto che, per rilevazioni effettuate, come nel nostro caso, ad altitudini inferiori ai 600 m sul livello del mare, viene trascurata);

t = temperatura in gradi centigradi all'ingresso del prelevatore;

T = temperatura di riferimento in gradi centigradi (25°C per PST, 0°C per PM10).

La concentrazione del materiale particolato totale è espressa in µg/m³.

Bibliografia

- [1] UNI 10586 1997, *Condizioni climatiche per ambienti di conservazione di documenti grafici e caratteristiche degli alloggiamenti*.
- [2] LORUSSO S. 2000, *Conservazione e trattamento dei materiali costituenti i Beni Culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [3] LORUSSO S. 1996, *Caratterizzazione, tecnologia e conservazione dei manufatti cartacei*, Roma, Ed. Bulzoni.
- [4] MINISTERO PER I BENI E LE ATTIVITÀ CULTURALI 1997, Ufficio Centrale per i Beni Librari, Istituti Culturali e Editoria, Gruppo di Studio su "La prevenzione" nell'ambito della commissione per la Conservazione del Patrimonio Librario Nazionale.
- [5] LORUSSO S., PRESTILEO F. 1999, *La prevenzione per la conservazione del patrimonio librario e documentale: proposta di un modello di sistema informativo*, "Archeometria e Calcolatori", 10, 331-442.
- [6] LORUSSO S. 2000, *L'ambiente di conservazione dei beni culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [7] LORUSSO S. et al. 2002, *Indagine sulle biblioteche pubbliche statali in Roma*, Accademie e Biblioteche d'Italia, 1-2, 127-145.
- [8] AGENZIA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (Anpa), *La qualità dell'aria*, <http://www.arpa.veneto.it/aria/pm10.htm>.

- [9] LORUSSO S., MARABELLI M., VIVIANO G. 1995, *La contaminazione ambientale e il degrado dei materiali di interesse storico-artistico*, Roma, Ed. Bulzoni.
- [10] LORUSSO S., NATALI A. 2002, *La conservazione dei documenti grafici: alcune considerazioni sui parametri climatici secondo la normativa vigente*, Scienza e Tecnica, 383-384, 2-7.
- [11] CARILE A., NANETTI A., VESPIGNANI G., PARMEGGIANI A., LORUSSO S., PRESTILEO F., GENTILE M.T., NATALI A. 2003, *Aspetti storici e indagini diagnostiche dei codici delle cronache veneziane e ravennati inedite*, Atti del 10° Congresso Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, Ravenna 2-4 aprile 2003, 54-62.
- [12] LORUSSO S. 2002, *La diagnostica per il controllo del sistema: manufatto-ambiente. Alcune applicazioni nel settore dei beni culturali*, Bologna, Pitagora Editrice.
- [13] LORUSSO S., PRESTILEO F., GENTILE M.T., NATALI A., *La diagnostica dei codici delle cronache veneziane e ravennati inedite (secoli VI-XIX)*, Conferenza Organizzativa "La Ricerca Applicata ai Beni Culturali. La chimica, l'ambiente, la diagnostica, il restauro, la conservazione", Urbino, 3-4.10.2002.
- [14] CENTRO DI FOTORIPRODUZIONE LEGATORIA E RESTAURO DEGLI ARCHIVI DI STATO 2002, *Chimica e biologia applicate alla conservazione degli Archivi*, Roma, Union Printing.
- [15] 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.
- [16] LORUSSO S., NATALI A., *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.
- [17] GENOVA M., LORUSSO S. 1994, *Biblioteca Nazionale Centrale e Biblioteca Casanatense a Roma: valutazioni ambientali ed energetiche*, Rapporto finale CISE-DSM-95-78.
- [18] LORUSSO S., NATALI A., PRESTILEO F., GENTILE M.T., *Studio del sistema: manufatto-ambiente negli archivi di stato*, Atti del 10° Congresso Nazionale sulle Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica, Ravenna 2-4 aprile 2003, 146-154.
- [19] CUSANO M.C., CATTANI G., SETTIMO G., VIVIANO G., PRESTILEO F., LORUSSO L.C., GENTILE M.T., NATALI A., LORUSSO S., *Interazione tra contaminanti ambientali e manufatti di interesse storico-artistico: materiale particellare e microinquinanti inorganici*, VI Congresso Nazionale di Chimica Ambientale, Rosignano Solvay (LI) 5-8.06.2001.
- [20] CECINATO A., *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.

- [21] GIUDICI A., *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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] MARCONI A., ZIEMACKI G., CATTANI G., STACCHINI G. 2001, *Concentrazioni di PM10 e PM2.5 determinate a Roma e confronto con un sito remoto*, in: Poluzzi V. (Ed.) *Arie di città. I quaderni dell'ARPA*, Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente dell'Emilia-Romagna, Bologna.

Riassunto

Sono state effettuate misurazioni del Particolato Totale Sospeso (PTS) e della frazione PM 10 delle polveri in alcuni ambienti confinati, in particolare in unità culturali quali gli Archivi di Stato di Roma, Firenze e Rimini.

Le finalità sono rivolte non solo ad evidenziare l'azione di alterazione-degradazione delle suddette polveri sui manufatti ivi collocati-conservati, ma anche a quantificare tale inquinante inalabile da un qualsiasi fruitore dell'Archivio durante lo svolgimento della normale attività lavorativa, nel rispetto dei limiti stabiliti dalla normativa vigente per la protezione umana.

Summary

Some measurements were made on the total suspended particulate (PTS) and on the fraction PM 10 of dusts within some environments, in particular in cultural institutes such as the State Archives in Rome, Florence and Rimini. The aim is not only to highlight the alteration-degradation of the above-said dusts on the manufactures placed and kept there, but also to quantify the polluting substance that can be inhaled by any guest of the Archive during his or her normal working activity, respecting the limits defined by the law for human protection.

Résumé

Ont été effectués des mesurages de la Particule Totale Suspendue (PTS) et de la fraction PM 10 des poussières dans certains endroits relégués, en particulier dans des unités culturelles tels les Archives d'Etat de Rome, Florence et Rimini.

Les finalités sont dirigées non seulement à mettre en évidence l'action d'altération-dégradation des susdites poussières sur les ouvrages là colloqués-conservés, mais aussi à quantifier ce polluant qui peut être inhalé par n'importe quel jouisseur de l'Archive durant le déroulement de la normale activité de travail, dans le respect des limites établies par la normative en vigueur pour la protection humaine.

Zusammenfassung

Es wurden einige Messungen des Gesamten Schwebenden Partikulats und der Fraktion PM 10 der Staube in einer begrenzten Umgebung vorgenommen, insbesondere in kulturellen Anstalten wie die Staatsarchive in Rom, Florenz und Rimini.

Das Ziel ist es, die Veränderungs- und Verderbenseffekte der dort aufbewahrten Artefakte festzustellen, die von den Stäuben verursacht wurden, und gleichzeitig den umweltschädigenden Stoff zu messen, den von den Gästen des Archivs in einem normalen Arbeitstag eingeatmet werden kann, um zu sichern, dass die Grenzen des geltenden Gesetzes für den Schutz der Menschen eingehalten werden können.

Resumen

Se han efectuado mediciones del Total de Partículas en Suspensión (TPS) y de la fracción PM 10 del polvo en algunos ambientes cerrados, en particular en unidades culturales como los Archivos de Estado de Roma, Florencia y Rimini.

La finalidad ha sido no sólo demostrar la acción de alteración-degradación de dichos polvos en las piezas allí situadas-conservadas, sino también cuantificar la inhalación de dichos contaminantes por parte de cualquier usuario del Archivo durante su actividad laboral normal, en el marco del respeto a los límites establecidos por las normativas vigentes para la protección humana.

Резюме

В некоторых закрытых зданиях, в частности, в Государственных архивах Рима, Флоренции и Римини, был произведен забор и анализ пыли и ее компонентов, в том числе частиц РМ 10. Целью исследования является не только выявление химических реакций пыли, приводящих к изменению и разрушению находящихся в архивах документов, но и определение, в рамках установленных норм по защите человека, вредного вещества, вдыхаемого при работе любым пользователем архива.