

Mario Grana, Laura Vicentini, Antonio Pietroiusti, Andrea Magrini

## Particelle ultrafini emesse da stampanti laser

Sezione di Medicina del Lavoro, Dipartimento di Biomedicina e Prevenzione, Università di Roma "Tor Vergata"

**RIASSUNTO.** Negli ultimi anni è andata crescendo l'attenzione per la qualità dell'aria indoor sulla cui importanza studiosi ed esperti del settore non hanno ormai dubbi dal momento che nella società moderna si tende a trascorrere la maggior parte del tempo in vari tipi di ambienti interni (ufficio, abitazioni private, ecc.). Le stampanti laser, in particolare, rilasciano nell'ambiente un aerosol comprendente particelle solide e liquide e composti chimici in fase gassosa. La misura di tutti questi componenti non è praticamente fattibile. Pertanto, è necessario ricercare un indicatore che, quando misurato, mostri con accuratezza la frequenza, la durata e l'entità dell'esposizione. La misura con un contatore ottico di particelle e un contatore a condensazione rappresenta un indicatore ad elevata sensibilità e rappresentatività. Il maggior vantaggio dell'utilizzo di questi strumenti è la capacità di individuare la presenza di particolato ultrafine e di rilevare anche le particelle in fase liquida. La registrazione in continuo del particolato submicrometrico emesso durante le attività di stampa consente di valutare l'esposizione del personale, mentre il rapporto tra i valori di picco e i valori di fondo permette di classificare le stampanti in base alla loro emissività. Il particolato generato durante i processi di stampa ha dimensioni inferiori a  $0,3 \mu\text{m}$  e si estende pertanto nell'intervallo dimensionale delle nanoparticelle (particolato ultrafine inferiore a 100 nm). Tali attività determinano elevate concentrazioni di polveri ultrafini con una variabilità legata a fattori quali tipo di stampante, toner, tipo di carta, periodicità della manutenzione e ricambi d'aria. Le concentrazioni del particolato in ambienti di ufficio possono essere ridotte mediante una scelta opportuna delle stampanti, con l'uso di appropriate tecniche di filtrazione e posizionando le apparecchiature a distanza dalle postazioni di lavoro.

**Parole chiave:** stampanti laser, fotocopiatrici, emissioni, particolato ultrafine.

**ABSTRACT.** *ULTRAFINE PARTICLE EMISSIONS FROM LASER PRINTERS. In recent years there has been growing attention to the importance of indoor air quality on which scientist and experts have no doubts since in modern society we tend to spend most of the time in various types of indoor environments (office, private homes, etc.).*

*Laser printers, in particular, release an aerosol into the environment including solid and liquid particles and gaseous compounds. The measurement of all these components is not practically feasible. Therefore, it is necessary to identify a marker which, when measured, shows accurately the frequency, duration and magnitude of the exposure.*

### Introduzione

Una delle apparecchiature elettroniche oggi più ampiamente diffuse, presenti non solo negli uffici, ma anche nelle abitazioni di tutto il mondo sono le stampanti di varie tipologie. Le stampanti laser, in particolare, sono una potenziale fonte di inquinanti indoor, producendo composti organici volatili e ozono, nonché una serie di emissioni di particelle, i cui livelli, secondo i pochi studi a riguardo, si differenzerebbero notevolmente in base al tipo di stampante. La qualità e la quantità di sostanze emesse sono determinate dal processo tecnico, dal tipo di toner e di carta utilizzato, dal modello e dall'età dell'apparecchio, nonché dalla manutenzione e dalle condizioni ambientali.

In generale, vi sono pochissime informazioni disponibili sulla emissione di particelle da apparecchiature per ufficio, in particolare dalle stampanti. Quindi è importante approfondire questo campo di indagine al fine di ottenere una migliore qualità dell'aria interna e ridurre al minimo l'esposizione umana a queste sostanze inquinanti (1).

Il presente studio si propone pertanto di monitorare la concentrazione numerica delle particelle submicrometriche negli ambienti di ufficio e all'esterno, per valutare il potenziale impatto delle attività indoor sulla concentrazione del particolato, di determinare il tasso di emissione di diverse stampanti laser e fotocopiatrici e di caratterizzarne il particolato.

### Effetti sulla salute

Conseguenza dell'esteso uso di stampanti laser e/o fotocopiatrici è l'esposizione a condizioni ambientali che aumentano il rischio di effetti negativi acuti sulla salute come mal di testa, irritazione delle mucose degli occhi, dell'apparato respiratorio e irritazione cutanea. Effetti nocivi a lungo termine per l'apparato respiratorio sono ancora oggetto di molti studi riguardanti la medicina del lavoro.

La problematica relativa all'esposizione professionale nelle copisterie o nei locali (ad es. uffici), nei quali vengono utilizzate fotocopiatrici e/o stampanti laser, è stata affrontata nel corso di diverse ricerche riportate in letteratura che evidenziano un incremento delle concentrazioni di polveri fini e di nanoparticelle aerodisperse negli

*The measure with an optical particle counter (OPC) and a condensation particle counter (CPC) is an indicator with high sensitivity and representativeness. The major advantage of using these tools is the ability to detect the presence of ultrafine particles and also detect the particles in the liquid phase.*

*The continuous recording of submicron particulate matter emitted during the printing activity allows to measure the exposure of personnel, while the ratio between the peak values and the values without printing activity can be used to classify the printers according to their emissivity.*

*The particulate generated during the processes of printing has size less than 0.3 micron and therefore extends in the size range of nanoparticles (ultrafine particles less than 100 nm).*

*These activities lead to high concentrations of ultrafine particles with a variability related to factors such as type of printer, toner, paper type, frequency of maintenance and air exchange.*

*The concentrations of ultrafine particles in office environments can be reduced by proper choice of the printers, with the use of appropriate filtration techniques and placing the equipment away from workstations.*

*Key words: laser printers, photocopiers, emissions, ultrafine particles.*

ambientali indoor, oltre che di sostanze organiche volatili (SOV) (2-4). Tali apparecchiature emettono inoltre raggi ultravioletti che producono ozono ( $O_3$ ), dannoso per le vie respiratorie. Tali emissioni sono state messe in relazione con alcuni disturbi e sintomatologie correlate alla Sick Building Syndrome-SBS (Sindrome dell'edificio malato) quali irritazione degli occhi, delle vie aeree e della cute, tosse, asma etc.

Gli studi epidemiologici non hanno stabilito relazioni causali certe fra queste emissioni e le malattie croniche dell'apparato respiratorio o le malattie polmonari interstiziali.

I dati attualmente disponibili non permettono di trarre conclusioni definitive in merito alla cancerogenicità, soprattutto perché non sono ancora stati svolti studi epidemiologici sul rapporto tra l'esposizione a polveri di toner e un maggiore rischio di tumori maligni delle vie respiratorie (5).

## Materiali e metodi

I processi di stampa con stampanti laser rilasciano nell'ambiente un aerosol comprendente un'ampia varietà di particelle solide e liquide e di composti chimici in fase gassosa. La misura di tutti questi componenti non è praticamente fattibile. Pertanto, è necessario ricercare un indicatore (marker) che, quando misurato, mostri con accuratezza la frequenza, la durata e l'entità dell'esposizione.

Per la facilità della sua misura, l'indicatore prescelto per la verifica della presenza di questi inquinanti è rappresentato dalla concentrazione numerica del particolato in determinate classi dimensionali e in particolare al di sotto di  $1 \mu m$ .

Al momento non ci sono limiti di esposizione specifici per le nanoparticelle né consenso tra norme nazionali o internazionali in materia di tecniche di misurazione per i nanomateriali nei luoghi di lavoro. Recentemente l'IFA tedesco ha proposto, quali limiti di riferimento sulle 8 ore per

nanomateriali biopersistenti, valori di concentrazione da non superare di  $20.000 \text{ pp/cm}^3$  per materiali con densità  $>6.000 \text{ kg/m}^3$  (es. metalli e ossidi di metalli) e di  $40.000 \text{ pp/cm}^3$  per materiali con densità  $<6.000 \text{ kg/m}^3$  (es.  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $TiN$ ,  $TiO_2$ ,  $ZnO$ , carbon black,  $C_{60}$ , polistirene) (6-8). Sono disponibili numerose tecniche per misurare le nanoparticelle presenti nell'aria in funzione della dimensione delle particelle, della massa, della superficie, della concentrazione numerica, e della composizione. Tuttavia, alcune di queste tecniche mancano di specificità e portabilità sul campo e sono difficili da usare e costose quando applicate alla valutazione dell'esposizione di tipo routinario. Si è quindi adottata la tecnica di valutazione dell'emissione di nanoparticelle (Nanoparticle Emission Assessment Technique, NEAT) proposta dal NIOSH (9, 10), che utilizza una combinazione di tecniche di misurazione e strumenti per valutare l'esposizione per inalazione.

A tale scopo, per il dosaggio della polvere aerodispersa si sono adottate due metodiche di rilevamento:

- misura della concentrazione numerica della polvere aerodispersa con il ricorso al contatore ottico di particelle (OPC) modello AeroTrak 9306 della TSI: l'apparecchio, di tipo portatile, è a sei canali per la misura (conteggio), ad un flusso di  $0,1 \text{ CFM}$  ( $2,83 \text{ litri/minuto}$ ), del numero di particelle comprese nelle classi granulometriche  $0,3 - 0,5 - 1,0 - 3,0 - 5,0 - 10 \mu m$ ; sensibilità  $0,3 \mu m$  (da  $0,3 \mu m$  a  $10 \mu m$ );
- misura della concentrazione numerica della polvere aerodispersa ogni secondo col contatore di particelle a condensazione (CPC) P-Trak Ultrafine Particle Counter modello 8525 della TSI: l'apparecchio misura il numero di particelle inferiori a  $1 \mu m$  e fornisce pertanto indicazioni sulla presenza di nanoparticelle.

I rilievi sono stati eseguiti sia a centro ambiente nel corso della normale attività lavorativa, sia in prossimità delle singole attrezzature di stampa, in particolare per la misura dell'emissione delle stampanti. La concentrazione di fondo del particolato è stata effettuata nello stesso ambiente, in assenza di processi di stampa, o all'esterno. Per calcolare il rapporto tra la concentrazione misurata durante l'attività di stampa e la concentrazione di fondo si è fatto uso della media dei valori di picco nell'intervallo di 1-2 minuti in concomitanza col processo di stampa.

Un dato di concentrazione numerica elevata ottenuta con il CPC simultaneamente con un'alta concentrazione nell'intervallo dimensionale ( $300-500 \text{ nm}$ ) fornita dall'OPC può indicare la possibile presenza di particelle nanometriche. Inversamente, una bassa concentrazione con il CPC, assieme ad una elevata concentrazione, nell'intervallo maggiore di  $1.000 \text{ nm}$  riscontrata con l'OPC, può indicare la presenza di particelle di grandi dimensioni o agglomerati di nanoparticelle.

Il ricorso all'impiego di contatori ottici di particelle, per la misura della concentrazione del particolato aerodisperso, offre vantaggi di notevole valenza:

- la misura è di facile esecuzione e permette controlli pressoché istantanei (pochi minuti);
- con rilievi di lunga durata, la registrazione in continuo della concentrazione permette di osservarne le fluttuazioni nel tempo;

- la misura basata sul metodo fotometrico permette di tener conto non solo della componente solida del particolato ma anche di quella liquida, quest'ultima mal rilevabile, a causa della parziale evaporazione del liquido, con il tradizionale campionamento su filtro.

Il presente lavoro mostrerà che la misura della concentrazione del particolato aerodisperso, eseguita con strumenti automatici basati sull'utilizzo di un contatore ottico di particelle e di un contatore di particelle a condensazione, rappresenta un indicatore ad elevata sensibilità e rappresentatività.

In alcuni degli ambienti si sono inoltre eseguiti rilievi finalizzati alla caratterizzazione qualitativa delle polveri aerodisperse in microscopia elettronica a scansione. A tale scopo la polvere aerodispersa è stata aspirata su filtri in policarbonato da 25 mm di diametro, porosità 1,2  $\mu\text{m}$ .

In laboratorio, i filtri in policarbonato sono stati posti su stub di alluminio e ricoperti da un sottile strato d'oro (necessario per realizzare la conducibilità elettrica del preparato) utilizzando il vaporizzatore d'oro Agar, mod. SEM coating unit PS3; condizioni operative in atmosfera di argon:

- depressione: 0,07 torr
- amperaggio: 20 mA
- tempo vaporizzazione: 90 secondi

Per l'analisi si è impiegato il microscopio elettronico a scansione Leica LEO 420, dotato di microanalisi Oxford INCA Energy 250. Condizioni operative per l'analisi degli elementi:

- voltaggio: 20 kV
- amperaggio: fino a raggiungere il 2° punto di saturazione del filamento (2,7 A)
- distanza campione: 19 mm.

## Risultati

Il confronto tra i dati delle tabelle I e II fornisce indicazioni circa le caratteristiche dimensionali del particolato generato nei processi di stampa. Non si notano particolari incrementi nella concentrazione numerica delle particelle nelle classi dimensionali comprese tra 0,3  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$  durante i processi di stampa; si registrano, per contro, elevate concentrazioni del particolato inferiore a 1  $\mu\text{m}$ . Con evidenza il particolato generato durante i processi di stampa ha dimensioni inferiori a 0,3  $\mu\text{m}$  e si estende pertanto nell'intervallo dimensionale delle nanoparticelle (particolato ultrafine inferiore a 100 nm).

Alcuni autori (1) classificano le stampanti in 4 categorie in funzione del rapporto tra concentrazioni di picco e concentrazioni di fondo: non emissive (rapporto  $\leq 1$ ), bassa emissività ( $1 < \text{rapporto} \leq 5$ ), media emissività ( $5 < \text{rapporto} \leq 10$ ), alta emissività (rapporto  $> 10$ ).

In quest'ottica la tabella III riporta in ordine decrescente del suddetto rapporto le diverse stampanti monitorate.

È evidente che stampanti laser che emettono nanoparticelle a concentrazioni superiori al valore di fondo sono comuni negli ambienti di ufficio, con il 76% delle stampanti investigate classificate come emettitori di livello da basso ad alto.

Uno degli uffici con stampanti Kyocera è stato oggetto di monitoraggio prolungato nel tempo, posizionando la strumentazione a circa 1 m dagli apparecchi di stampa. I rilievi mostrano un significativo incremento della concentrazione numerica del particolato associata al processo di stampa. Pertanto queste stampanti determinano un aumento dell'esposizione del personale alle particelle al di sopra del valore di fondo.

Nel grafico riportato in figura 1 è possibile identificare i singoli eventi di stampa; le due rette rappresentano la concentrazione di fondo (in grigio) e la concentrazione media durante l'intervallo di misura (tratteggiato) del numero di particelle ultrafini (UFP). Ne deriva che in un ufficio con stampanti classificabili come altamente emissive l'esposizione del personale alle polveri ultrafini è più del doppio di quella che si avrebbe in assenza di processi di stampa.

Si fa presente che gli uffici indagati sono di tipo open space con volume tra 70 e 105  $\text{m}^3$  e un numero di occupanti compreso tra 2 e 4. Gli edifici A, B, D e I sono dotati di impianto di ventilazione artificiale mentre negli altri i ricambi d'aria sono affidati esclusivamente alla ventilazione naturale (apertura di porte e finestre).

I rilievi effettuati durante l'attività di stampa con stampanti ad alta emissività (in questo caso HP ColorLaserjet CP2025, Xerox Phaser 6280 e Kyocera Ecosys FS-1300D) mostrano valori di picco della concentrazione numerica del particolato sottile ( $< 1 \mu\text{m}$ ) superiori a 200.000 particelle/ $\text{cm}^3$  fino a raggiungere, in prossimità della stampante HP ColorLaserjet CP2025, le 500.000 particelle/ $\text{cm}^3$ , valore circa 150 volte maggiore dell'inquinamento di fondo misurato nell'ufficio F1 (pari a 3.248 particelle/ $\text{cm}^3$ ).

Anche le concentrazioni medie registrate durante le fasi di stampa mettono in evidenza incrementi significativi con valori superiori anche di dieci volte ai valori di fondo misurati negli stessi ambienti.

Per contro alcune macchine, soprattutto le stampanti laser multifunzione ad alta produttività (Ricoh Aficio, Canon iR 1600, Lexmark X940e) non determinano incrementi significativi della concentrazione numerica del particolato durante la stampa e la riproduzione.

Un altro dato di particolare interesse emerge da un'analisi approfondita delle concentrazioni di fondo del particolato ultrafine misurate nei diversi ambienti indagati: negli uffici dotati di impianto di ventilazione artificiale i valori sono compresi tra 1.249  $\text{pp}/\text{cm}^3$  e 5.809  $\text{pp}/\text{cm}^3$  con un valore medio di 3.479  $\text{pp}/\text{cm}^3$ , mentre negli uffici dove i ricambi d'aria sono affidati esclusivamente alla ventilazione naturale i valori sono compresi tra 3.234  $\text{pp}/\text{cm}^3$  e 22.515  $\text{pp}/\text{cm}^3$  con un valore medio di 6.296  $\text{pp}/\text{cm}^3$ .

In particolare le concentrazioni di fondo in assoluto più elevate sono state misurate negli uffici dell'Edificio C dove sono ubicate le stampanti Olivetti D-Color e risultano nettamente più elevate di quella di un adiacente locale privo di stampante (valori, in particelle/ $\text{cm}^3$ , rispettivamente pari a 22.515 e 14.667 contro 12.071).

Valori così elevati del fondo negli ambienti con Olivetti D-Color testimoniano in maniera eclatante che le stampanti non debbono essere installate soprattutto in

Tabella I. Concentrazione numerica della polvere aerodispersa con OPC

Postazione	Ora	Classi granulometriche					
	h:min	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	3 µm	5 µm	10 µm
		Particelle/cm <sup>3</sup>					
<b>EDIFICIO A - Ufficio A1 - Stampanti Kyocera Ecosys FS-1300D</b>							
Attività di ufficio comprese fasi di stampa	11:46 14:49	<b>25</b> min 14 max 69	<b>3,06</b> min 2,02 max 6,18	<b>0,47</b> min 0,13 max 0,98	<b>0,21</b> min 0,02 max 0,64	<b>0,10</b> min 0,003 max 0,42	<b>0,03</b> min 0,0004 max 0,13
Durante stampa	11:46 12:27	<b>45</b> min 29 max 69	<b>4,87</b> min 3,70 max 6,18	<b>0,68</b> min 0,54 max 0,87	<b>0,26</b> min 0,21 max 0,36	<b>0,12</b> min 0,10 max 0,18	<b>0,03</b> min 0,02 max 0,07
Fondo	14:56 15:21	<b>39</b> min 34 max 44	<b>3,64</b> min 3,43 max 4,00	<b>1,04</b> min 0,71 max 1,28	<b>0,66</b> min 0,38 max 0,86	<b>0,38</b> min 0,20 max 0,58	<b>0,10</b> min 0,04 max 0,17
<b>EDIFICIO A - Locale fotocopiatrice Canon iR 1600</b>							
Durante la riproduzione di 170 pagine	15:26 15:55	<b>43</b> min 41 max 45	<b>4,04</b> min 3,68 max 4,40	<b>1,01</b> min 0,62 max 1,36	<b>0,62</b> min 0,27 max 0,88	<b>0,40</b> min 0,15 max 0,60	<b>0,13</b> min 0,05 max 0,19
Esterno	15:59 16:12	<b>50</b> min 47 max 55	<b>4,55</b> min 3,99 max 5,74	<b>0,64</b> min 0,60 max 0,67	<b>0,20</b> min 0,18 max 0,21	<b>0,07</b> min 0,07 max 0,08	<b>0,02</b> min 0,01 max 0,02
<b>EDIFICIO B - Ufficio B1 - Stampanti Kyocera Ecosys FS-1300D</b>							
Con attività di stampa	9:47 14:00	<b>32</b> min 23 max 53	<b>4,35</b> min 2,95 max 5,87	<b>0,34</b> min 0,21 max 0,45	<b>0,08</b> min 0,04 max 0,12	<b>0,03</b> min 0,01 max 0,05	<b>0,01</b> min 0,003 max 0,02
Esterno	14:06 14:28	<b>69</b> min 63 max 73	<b>7,45</b> min 6,83 max 8,11	<b>0,54</b> min 0,35 max 0,97	<b>0,17</b> min 0,06 max 0,41	<b>0,09</b> min 0,02 max 0,24	<b>0,03</b> min 0,01 max 0,08
<b>EDIFICIO C - Ufficio C1 - Stampante/fotocopiatrice Olivetti D-Color MF 550</b>							
Fondo	10:06 10:12	<b>268</b> min 263 max 277	<b>23,99</b> min 23,4 max 24,7	<b>1,07</b> min 1,05 max 1,09	<b>0,22</b> min 0,21 max 0,22	<b>0,06</b> min 0,06 max 0,07	<b>0,02</b> min 0,016 max 0,024
Durante e dopo la stampa di 170 pagine	10:15 10:23	<b>335</b> min 327 max 342	<b>31,30</b> min 30,5 max 32,3	<b>1,22</b> min 1,16 max 1,24	<b>0,24</b> min 0,23 max 0,27	<b>0,07</b> min 0,06 max 0,08	<b>0,02</b> min 0,016 max 0,023
Durante la riproduzione di 100 pagine	10:26 10:30	<b>292</b> min 286 max 306	<b>26,38</b> min 25,6 max 28,1	<b>1,07</b> min 0,98 max 1,15	<b>0,21</b> min 0,18 max 0,22	<b>0,06</b> min 0,05 max 0,07	<b>0,02</b> min 0,015 max 0,022
Ufficio privo di stampanti, fondo	10:33 10:36	<b>131</b> min 126 max 136	<b>11,39</b> min 11,0 max 11,8	<b>1,16</b> min 1,12 max 1,18	<b>0,37</b> min 0,32 max 0,40	<b>0,14</b> min 0,11 max 0,16	<b>0,032</b> min 0,028 max 0,036
Esterno	10:38 10:41	<b>24</b> min 10,6 max 32,3	<b>3,25</b> min 1,89 max 4,23	<b>0,70</b> min 0,66 max 0,73	<b>0,20</b> min 0,19 max 0,22	<b>0,04</b> min 0,04 max 0,06	<b>0,005</b> min 0,005 max 0,007
<b>EDIFICIO C - Ufficio C2 - Stampante/fotocopiatrice Olivetti D-Color MC 360</b>							
Fondo	11:10 11:12	<b>81</b> min 80 max 83	<b>8,90</b> min 8,83 max 8,97	<b>0,84</b> min 0,81 max 0,87	<b>0,19</b> min 0,19 max 0,20	<b>0,05</b> min 0,05 max 0,06	<b>0,03</b> min 0,023 max 0,029
Durante e dopo la stampa di 100 pagine	11:16 11:26	<b>74</b> min 62,3 max 102	<b>9,25</b> min 7,41 max 12,7	<b>0,87</b> min 0,80 max 1,10	<b>0,22</b> min 0,18 max 0,25	<b>0,07</b> min 0,06 max 0,08	<b>0,02</b> min 0,016 max 0,035
<b>EDIFICIO I - Ufficio I1 - Stampante/fotocopiatrice Ricoh Pro 907exp</b>							
Fondo	12:26 12:30	<b>17</b> min 16,2 max 16,9	<b>1,48</b> min 1,45 max 1,53	<b>0,17</b> min 0,14 max 0,19	<b>0,06</b> min 0,04 max 0,07	<b>0,02</b> min 0,02 max 0,03	<b>0,01</b> min 0,005 max 0,020
Durante stampa e riproduzione	9:02 12:05	<b>14</b> min 7,9 max 29,5	<b>1,85</b> min 0,94 max 3,61	<b>0,35</b> min 0,16 max 0,49	<b>0,10</b> min 0,05 max 0,14	<b>0,03</b> min 0,02 max 0,06	<b>0,01</b> min 0,004 max 0,025

Tabella II. Concentrazione numerica della polvere aerodispersa con CPC

Postazione	Ora	Concentrazione
	h:min	Particelle/cm <sup>3</sup>
<b>EDIFICIO A - Ufficio A1 - Stampanti Kyocera Ecosys FS-1300D</b>		
Attività di ufficio comprese fasi di stampa	11:49 - 14:53	<b>10.324</b> min 5.260 - max 63.700
Durante attività di stampa	11:49 - 12:27	<b>23.198</b> min 14.600 - max 48.800
Durante attività di stampa	14:46 - 14:47	<b>29.534</b> min 6.700 - max 63.700
Fondo	15:00 - 15:27	<b>5.809</b> min 4.580 - max 6.690
<b>EDIFICIO A - Locale fotocopiatrice Canon iR 1600</b>		
Durante la riproduzione di 170 pagine	15:30 - 15:59	<b>5.498</b> min 4.880 - max 6.280
Esterno	16:04 - 16:18	<b>6.100</b> min 5.020 - max 9.340
<b>EDIFICIO B - Ufficio B1 - Stampanti Kyocera Ecosys FS-1300D</b>		
Intera giornata	9:47 - 14:04	<b>11.602</b> min 3.830 - max 61.100
Presso stampante, durante stampa di 20 pp.	11:08 - 11:12	<b>39.297</b> min 12.000 - max 205.000
Durante attività di stampa	9:54 - 10:40	<b>22.550</b> min 4.560 - max 61.100
Durante attività di stampa	10:40 - 11:00	<b>17.388</b> min 9.580 - max 51.600
Durante attività di stampa	12:51 - 13:13	<b>18.345</b> min 4.340 - max 48.900
Fondo	11:38 - 12:51	<b>4.644</b> min 3.890 - max 7.020
<b>EDIFICIO C - Ufficio C1 - Stampante/fotocopiatrice Olivetti D-Color MF 550</b>		
Fondo	10:06-10:12	<b>22.515</b> min 20.700 - max 23.500
Durante e dopo la stampa di 170 pagine	10:15-10:23	<b>28.250</b> min 20.000 - max 81.900
Durante la riproduzione di 100 pagine	10:26-10:30	<b>23.822</b> min 19.800 - max 37.200
Ufficio privo di stampanti, fondo	10:33-10:36	<b>12.071</b> min 11.500 - max 12.600
Esterno	10:38-10:41	<b>13.541</b> min 9.670 - max 17.500
<b>EDIFICIO C - Ufficio C2 - Stampante/fotocopiatrice Olivetti D-Color MC 360</b>		
Fondo	11:10-11:12	<b>14.667</b> min 14.200 - max 15.400
Durante e dopo la stampa di 100 pagine	11:16-11:26	<b>16.374</b> min 12.400 - max 21.700
<b>EDIFICIO D - Ufficio D1 - Stampante HP Laserjet P2015d</b>		
Fondo	10:35 - 11:25	<b>3.140</b> min 1.920 - max 4.140
Fondo	15:38 - 15:39	<b>1.249</b> min 1.160 - max 1.370
Stampa di 20 pp.	15:50 - 15:53	<b>14.810</b> min 883 - max 118.000
<b>EDIFICIO D - Locale stampa - Stampante Ricoh Aficio MP C5000</b>		
Durante stampa di 50 pp.	15:58 - 14:01	<b>2.475</b> min 1.660 - max 7.900
Esterno	14:58 - 15:23	<b>3.710</b> min 2.990 - max 12.500

(segue)

Tabella II (segue)

Postazione	Ora	Concentrazione
	h:min	Particelle/cm <sup>3</sup>
<b>EDIFICIO E - Ufficio E1 - Stampante HP ColorLaserjet CP3505N</b>		
Fondo	11:36 - 11:37	<b>5.693</b> min 5.570 - max 5.830
Durante stampa di 20 pp.	11:37 - 11:41	<b>15.920</b> min 7.090 - max 89.800
<b>EDIFICIO E - Ufficio E1 - Stampante HP ColorLaserjet CP1525NW color</b>		
Fondo	11:07 - 11:09	<b>7.443</b> min 7.010 - max 8.470
Durante stampa	11:14 - 11:18	<b>8.788</b> min 5.380 - max 78.900
<b>EDIFICIO E - Ufficio E2 - Stampante HP ColorLaserjet 2600N</b>		
Fondo	11:43 - 11:44	<b>6.442</b> min 6.190 - max 7.020
Durante stampa di 11 pp.	11:44 - 11:45	<b>6.585</b> min 5.890 - max 7.010
<b>EDIFICIO E - Locale fotocopiatrice Lexmark X940e</b>		
Fondo	11:46 - 11:47	<b>6.915</b> min 6.680 - max 7.210
Durante riproduzione di 20 pp.	11:48 - 11:51	<b>8.516</b> min 7.270 - max 9.850
<b>EDIFICIO F - Ufficio F1 - Stampante HP ColorLaserjet CP2025</b>		
Fondo	16:09-16:10	<b>3.248</b> min 3.150 - max 3.320
Durante stampa di 8 pp.	16:16-16:18	<b>56.973</b> min 3.320 - max 500.000
<b>EDIFICIO F - Ufficio F2 - Stampante HP ColorLaserjet CP3505x</b>		
Fondo	16:12-16:14	<b>3.234</b> min 3.120 - max 3.360
Durante stampa di 26 pp.	16:21-16:24	<b>20.579</b> min 4.540 - max 105.000
<b>EDIFICIO F - Ufficio F2 - Fotocopiatrice Lexmark X940e</b>		
Durante la riproduzione di 20 pp.	16:26-16:28	<b>6.109</b> min 5.590 - max 6.550
<b>EDIFICIO G - Ufficio G1 - Stampante/fotocopiatrice Ricoh Aficio MP 4000</b>		
Fondo	11:50 - 11:52	<b>5.425</b> min 5.210 - max 5.590
Durante la riproduzione di 50 pp.	11:53 - 11:54	<b>5.309</b> min 5.110 - max 5.540
Durante la stampa di 75 pp.	11:54 - 11:57	<b>5.390</b> min 5.040 - max 6.310
<b>EDIFICIO H - Ufficio H1 - Stampante Xerox Phaser 6280</b>		
Fondo	11:57 - 11:58	<b>6.285</b> min 6.160 - max 6.450
Durante la stampa di 10 pp.	12:00 - 12:01	<b>66.666</b> min 6.200 - max 239.000
<b>EDIFICIO I - Ufficio I1 - Stampante/fotocopiatrice Ricoh Pro 907exp</b>		
Fondo	12:27 - 12:32	<b>3.473</b> min 3.300 - max 3.620
Durante riproduzione documenti	10:16 - 10:18	<b>5.685</b> min 4.840 - max 6.500
Durante stampa	12:24 - 12:25	<b>5.077</b> min 4.480 - max 5.710

**Tabella III. Emissione delle stampanti basata sul rapporto tra valori di picco e valori di fondo della concentrazione numerica del particolato ultrafine**

Stampante/Fotocopiatrice	Rapporto
HP ColorLaserjet CP2025	>10
Xerox Phaser 6280	>10
Kyocera Ecosys FS-1300D	5,1 - 8,5
HP ColorLaserjet CP3505x	6,4
HP Laserjet P2015d	4,7
HP ColorLaserjet CP3505N	2,8
Olivetti D-Color MF 550	2,0 - 2,3
Lexmark X940e	1,2 - 1,9
Ricoh Pro 907exp	1,5 - 1,6
Olivetti D-Color MC 360	1,3
HP ColorLaserjet CP1525NW color	1,2
HP ColorLaserjet 2600N Canon iR 1600 Ricoh Aficio MP C5000 Ricoh Aficio MP 4000	≤1

ambienti di lavoro privi di ventilazione artificiale. Non si dimentichi che ad un maggiore inquinamento particellare corrisponde anche una maggiore presenza degli altri inquinanti generati dall'operazione di stampa (SOV, metalli, gas).

Inoltre, durante la stampa e la fotocopiatrice i valori della concentrazione di particelle superiori a 1 µm non mostrano anch'essi differenze di rilievo rispetto a quelli

del fondo: una indagine gravimetrica tradizionale della polverosità ambientale non avrebbe messo in evidenza l'incremento, dovuto alle stampanti, della concentrazione particellare e, conseguentemente, degli altri inquinanti aerodispersi.

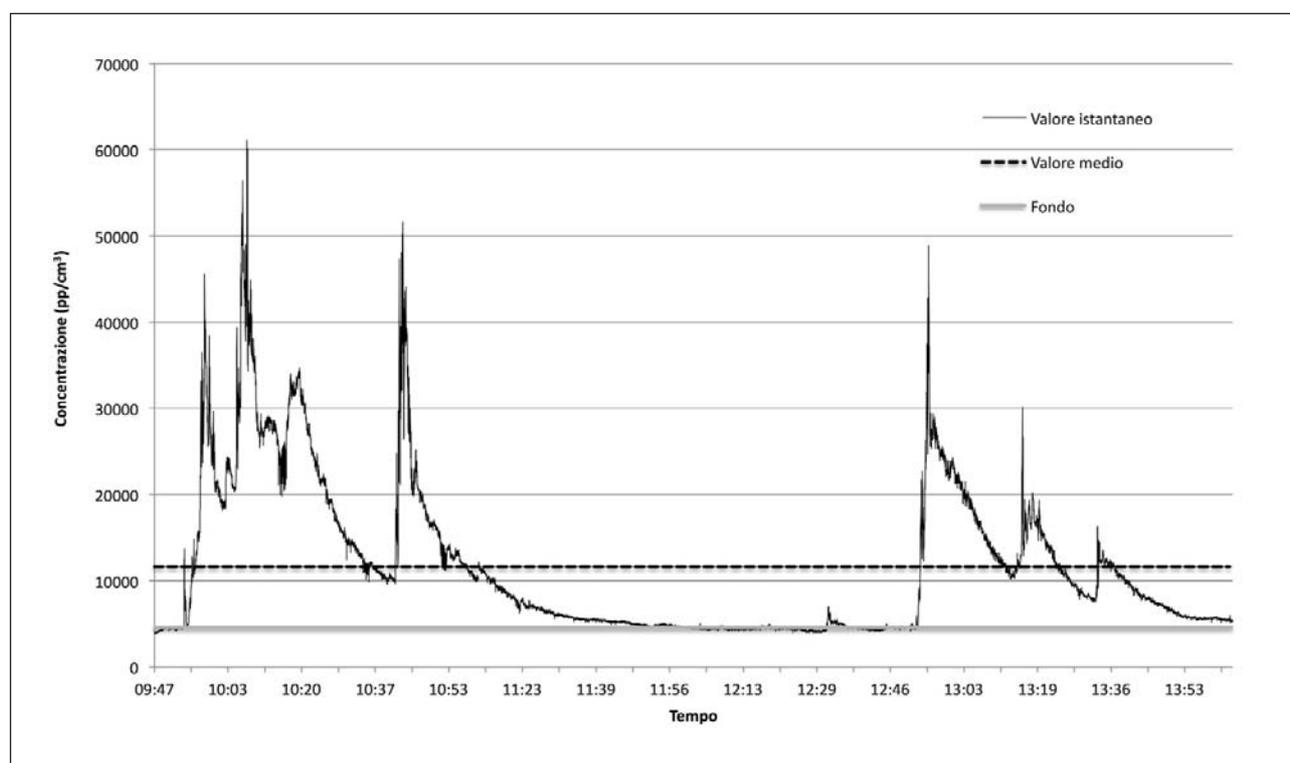
L'esame al microscopio elettronico a scansione dei campioni di particolato aerodisperso prelevati nell'ufficio con stampanti Kyocera Ecosys FS-1300D (ad elevata emissività) e nel locale fotocopiatrice Canon iR 1600 ha evidenziato la presenza di particelle a diversa granulometria.

La componente più grossolana è riferibile a frammenti di carta, con dimensioni che superano anche i 50 micrometri, fibre in assoluta prevalenza di natura organica (fibre di tessuto e aghetti di natura vegetale) e agglomerati o particelle minerali, molti dei quali costituiti da silicati, calcite, gesso e cloruro di sodio.

Di particolare interesse è la riscontrata presenza di numerose particelle, in prevalenza di diametro inferiore ai 10 micrometri e di forma subsferica, di ossido di silicio (figura 2), di ossido di ferro (figura 3) e di carbonio; presumibilmente questo particolato può essere attribuito a particelle di toner emesse dalla stampante e dalla fotocopiatrice.

Da notare, che l'analisi elementare di alcuni agglomerati minerali ha messo in evidenza la presenza di zinco e titanio, mentre è tranquillizzante che in nessuna delle particelle analizzate sono risultati presenti metalli quali, cadmio, piombo, nichel e cromo.

Anche l'analisi al SEM ha evidenziato la presenza di particolato più fine (<1 µm), spesso morfologicamente caratterizzato da un aspetto sferico (come le particelle più piccole presenti nella figura 4). Tale frazione del partico-



**Figura 1. Registrazione grafica della concentrazione di UFP nell'ufficio B1**

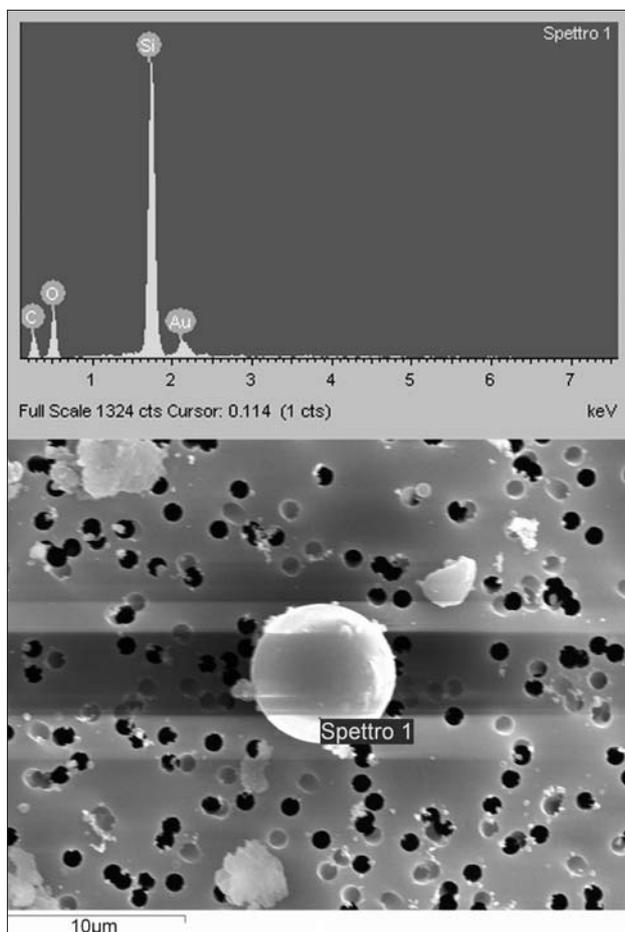


Figura 2. Ufficio A1: particella di diossido di silicio  $\phi = 7,7 \mu\text{m}$

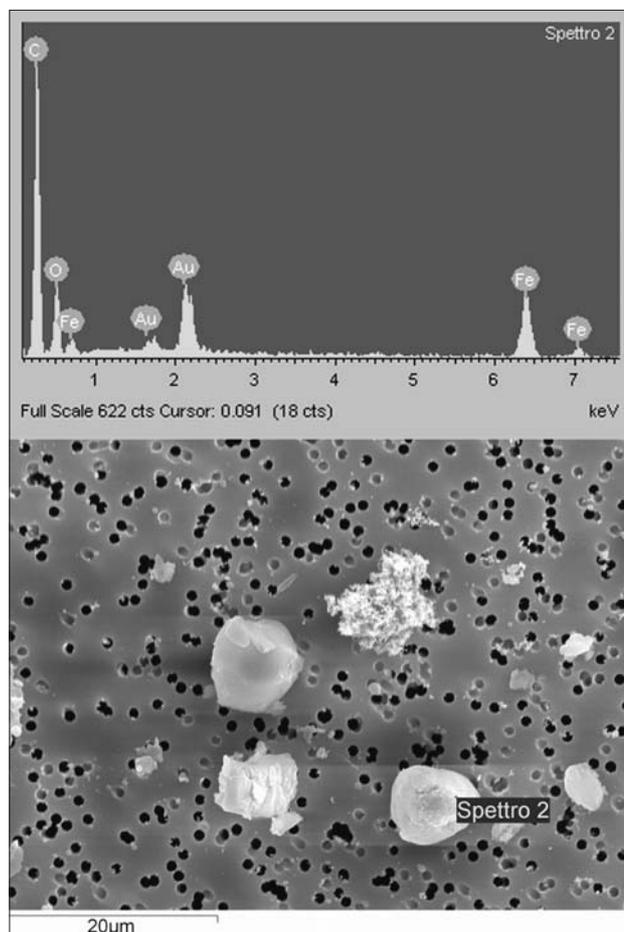


Figura 3. Ufficio A1: particella di ossido di ferro  $\phi = 7,0 \mu\text{m}$

lato è tuttavia meno abbondante, in termini quantitativi, rispetto a quanto atteso in base ai risultati ottenuti con CPC; in tale range dimensionale prevalgono dunque aerosol liquidi o volatili su quelli solidi. Evidentemente, sotto il vuoto spinto della camera di vaporizzazione dell'oro (tecnica di preparazione del campione per l'analisi al SEM), la componente liquida è evaporata.

In tale range granulometrico sembra prevalere in modo evidente solo il particolato organico.

### Discussione

Lo studio condotto non ha permesso soltanto di dimostrare l'utilità dell'impiego dei contatori ottici per il controllo in ambienti indoor dell'inquinamento particellare emesso da stampanti laser. Si è rilevato anche che l'uso di tali stampanti determina elevate concentrazioni di polveri ultrafini. La concentrazione del particolato nei diversi ambienti indagati presenta una notevole variabilità legata a fattori quali tipo di stampante, toner, tipo di carta, periodicità della manutenzione e ricambi d'aria.

La registrazione in continuo della concentrazione del particolato submicrometrico consente di eseguire una valutazione dei livelli di esposizione dei lavoratori in ambienti di ufficio.

Negli uffici indagati, la concentrazione numerica del particolato submicrometrico aumenta fino a 150 volte dopo l'avvio del processo di stampa e, in molti casi, dimi-

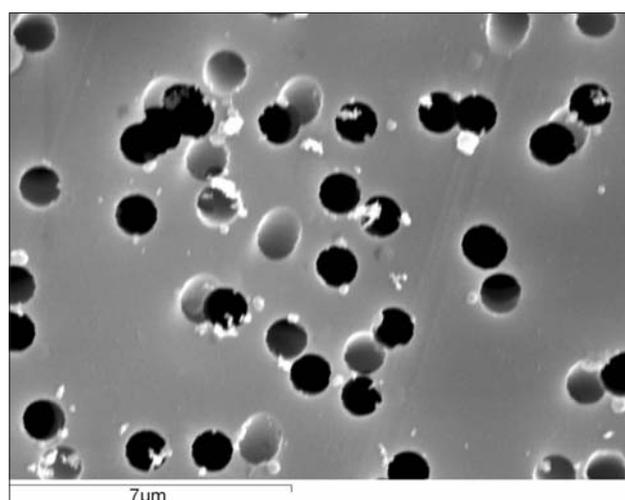


Figura 4. Ufficio A1: particolato ultrafine di diametro inferiore a  $1 \mu\text{m}$

nuisce fino a valori pari al livello di fondo verso la fine del processo stesso. L'origine e il significato di questi elevati picchi di concentrazione non è del tutto chiara, ma può essere causata dalla condensazione di sostanze organiche volatili (SOV).

La formazione del particolato ultrafine si presume avvenga durante il fissaggio del toner. Questo processo prevede il riscaldamento del rullo fusore e l'adesione della polvere di toner e della carta e può provocare un rilascio

di SOV, che vengono poi eventualmente nucleate a formare particelle. Al fine di fare luce su questo fenomeno, sono state eseguite analisi al microscopio elettronico a scansione di alcuni campioni d'aria.

I risultati delle analisi mostrano che la distribuzione dimensionale delle particelle solide campionate durante il processo di stampa, in parte nella gamma delle UFP, suggerisce che almeno una parte delle emissioni delle stampanti proviene da polvere di toner. Tuttavia, le concentrazioni nettamente superiori di UFP misurate con CPC rispetto a quelle riscontrate in microscopia elettronica indicano che aerosol liquidi o volatili rappresentano presumibilmente la maggior parte delle emissioni delle stampanti laser.

Restano invece insufficienti le indicazioni circa gli effetti sulla salute e molte domande riguardanti l'associazione emissioni delle stampanti-salute non trovano risposta. Ad esempio rimane sconosciuta quale o quali componenti delle emissioni siano i principali responsabili degli effetti negativi sulla salute.

Dunque, poiché le stampanti laser sono sempre più utilizzate, non solo negli uffici, ma anche nelle abitazioni private sarà necessario raccogliere ulteriori informazioni per avere una banca dati esaustiva sulle emissioni di tali apparecchiature, sull'esposizione e sulle caratteristiche chimiche.

Tuttavia i dati attualmente disponibili consentono di limitare il rischio per la salute, infatti questo ed altri studi implicano che le concentrazioni del particolato in ambienti di ufficio possono essere ridotte mediante una scelta opportuna delle stampanti e con l'uso di appropriate tecniche di filtrazione.

## Bibliografia

- 1) He C, Morawska L, Taplin L. Particle emission characteristics of office printers. *Environ Sci Technol* 2007; 41 (17): 6039-6045.
- 2) Castellano P, Canepari S, Ferrante R, L'Episcopo N. Multiparametric approach for an exemplary study of laser printer emissions. *J Environ Monit* 2012; 14: 446-454.
- 3) He C, Morawska L, Wang H, Jayaratne R, McGarry P, Johnson GR, Bostrom T, Gonther J, Authemayou S, Ayoko G. Quantification of the relationship between fuser roller temperature and laser printer emissions. *J Aerosol Sci* 2010; 41: 523-530.
- 4) Kagi N, Fujii S, Horiba Y, Namiki N, Ohtani Y, Emi H, Tamura H, Kim YS. Indoor air quality for chemical and ultrafine particle contaminants from printers. *Build Environ* 2007; 42: 1949-1954.
- 5) SUVA. Factsheet: Stampanti laser, fotocopiatrici e toner: pericoli per la salute. 2008.
- 6) IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Criteria for assessment of the effectiveness of protective measures. 2009. <http://www.dguv.de/ifa/en/fac/nanopartikel/beurteilungsmasstaebe/index.jsp>.
- 7) Dekkers S, de Heer C. Tijdelijke nano-referentiewaarden. RIVM Rapport 601044001/2010. [http://docs.minszw.nl/pdf/190/2010/190\\_2010\\_3\\_14399.pdf](http://docs.minszw.nl/pdf/190/2010/190_2010_3_14399.pdf)
- 8) van Broekhuizen P, van Veelen W, Streekstra WH, Schulte P, Reijnders L. Exposure limits for nanoparticles: report of an international workshop on nano reference values. *Ann Occup Hyg* 2012; 56 (5): 515-524.
- 9) Methner M, Hodson L, Geraci C. Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the Identification and Measurement of Potential Inhalation Exposure to Engineered Nanomaterials - Part A. *J Occup Environ Hyg* 2010; 7 (3): 127-132.
- 10) Methner M, Hodson L, Dames A, Geraci C. Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT) for the Identification and Measurement of Potential Inhalation Exposure to Engineered Nanomaterials - Part B: Results from 12 Field Studies. *J Occup Environ Hyg* 2010; 7 (3): 163-176.

**Corrispondenza:** Dott. Mario Grana, Dipartimento di Biomedicina e Prevenzione, Via Montpellier 1 - 00133 Roma, Italy, E-mail: [mario.grana@uniroma2.it](mailto:mario.grana@uniroma2.it), Tel. 06 72596141 - Cell. 339 1108525