POLITECNICO DI TORINO

Debora Fino, Guido Saracco, Nunzio Russo

Spett.: Ecoservice Office S.r.l.
C.F./P.I 01474030416,
Borgo S. Maria n. 43, Pesaro
c.a. Sig. G. Simoncelli

Torino, 20/11/2006

Oggetto: **Relazione finale attività svolte per "Ecoservice Office S.r.l"**

Introduzione

Al fine di contestualizzare le problematiche che hanno portato allo svolgimento di questo "progetto di ricerca" può risultare utile fare una breve introduzione sulla qualità dell'aria negli ambienti confinati e sulla questione, di sempre maggiore attualità, delle problematiche connesse alle nanoparticelle presenti negli ambienti di lavoro.

La composizione normale dell'aria negli ambienti confinati può essere alterata dalla presenza di sostanze diverse, alcune delle quali emettono odori, altre hanno effetti irritanti, altre ancora possono essere causa di gravi malattie.

Queste sostanza vengono comunemente chiamate "inquinanti" o "contaminanti". Maggiore è la quantità di inquinanti, peggiore è la qualità dell'aria.

Si può ragionare in termini di esposizione ad un agente inquinante, definibile con il prodotto della concentrazione per il tempo cui si è sottoposti a quel inquinante:

Esposizione = Concentrazione x tempo

Gli effetti prodotti possono essere: alterazioni fisiologiche e psicologiche, effetti mutageni o cancerogeni, danni ai materiali edilizi e agli arredi.

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica

Tabella 1. Indagine sul tempo trascorso all'interno e all'esterno degli edifici.

Indagine	*% del tempo trascorso in CASA*	*% del tempo trascorso in ALTRO AMBIENTE CHIUSO*	*% del tempo trascorso su MEZZI DI TRASPORTO*	*% del tempo trascorso all'APERTO*
EPA-USA (1)	60	30	5	5
ISS/ANPA-Italia (2)	53-64	13-28	-	17-24

(1) Environmental Protection Agency
(2) Istituto Superiore di sanità / Agenzia Nazionale Protezione ambiente

La tabella 1 riporta alcuni dati interessanti riguardanti un'indagine sul tempo trascorso all'interno e all'esterno degli edifici dalle persone in Italia e in USA. Questa indagine ha evidenziato le seguenti criticità:

- il tempo trascorso all'interno degli ambienti confinati raggiunge ormai dal 76% al 90% del totale;
- cresce l'inquinamento dell'aria esterna e con esso quello dell'aria interna;
- si impiegano nuovi materiali, per la costruzione degli edifici, per gli arredi e per apparecchiature (fotocopiatrici, stampanti, ecc.), che emettono sostanze inquinanti;
- vengono impiegati serramenti di qualità sempre migliori che riducono il ricambio naturale di aria con l'esterno.

All'interno del contesto generale fin qui illustrato si inserisce la ricerca finanziata da *Ecoservice Office* dal titolo: "Valutazione dell'impatto dalle periferiche di output che trasferiscono su carta le informazioni digitali contenute in un computer (stampanti laser) sulla qualità dell'aria in spazi confinati".

E' ben noto che le fotocopiatrici e le stampanti producono emissioni di vario tipo: ozono, raggi ultravioletti, rumore, polvere (polveri di carta o presenti nell'ambiente, polveri di toner). Questo dipende dal tipo di strumento e dalle condizioni di utilizzo (ad es. frequenza d'uso, luogo, ecc.).

Le nanoparticelle di nerofumo presenti nei toner rappresentano un potenziale pericolo per la salute. La gravità dei rischi per l'organismo umano non è ancora quantificabile in modo certo e

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

affidabile. Sono invece ben note le modalità con cui possono penetrare nel corpo umano e cioe: per inalazione, per ingestione o per via dermica.
Il toner è una miscela di diverse sostanze. Allo stato attuale delle conoscenze due sostanze sono da considerare tossiche nel toner: il nerofumo (può causare tumori alle vie urinarie e problemi polmonari) e lo stirene (può causare malattie e tumori del sangue).
I toner sono dotati di Schede di Sicurezza, che indicano la loro composizione. Tali schede hanno però mancanze e anomalie (non viene indicata la dimensione della polvere, non viene riportato il codice CAS delle sostanze impiegate per verificare eventuali effetti teratogeni, non viene data nessuna precauzione particolare nell' utilizzo degli stessi).

Ulteriori considerazioni sulla pericolosità del nerofumo presente nei toner riguardano il sistema maggiormente attaccato dagli inquinanti particellari: l'apparato respiratorio. In questo caso il fattore di maggior rilievo per lo studio degli effetti è probabilmente la dimensione delle particelle, in quanto da essa dipende l'estensione della penetrazione nelle vie respiratorie come rappresentato in Fig. 1.

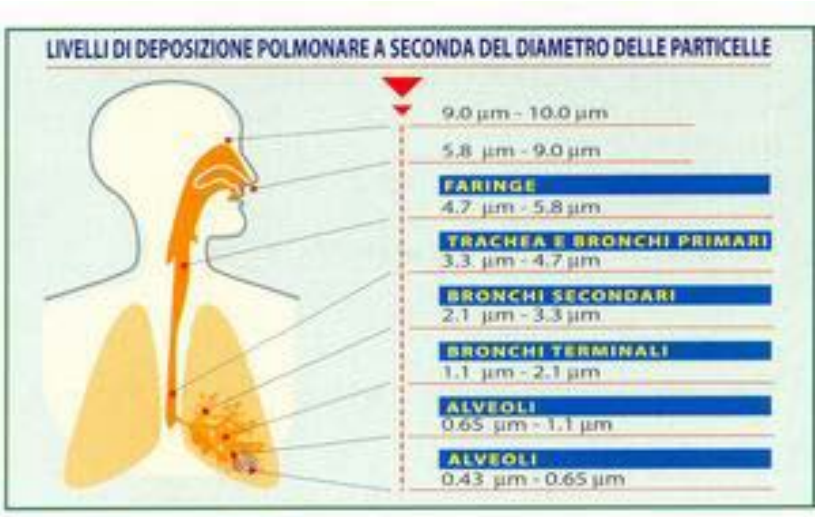

Figura 1. Livelli di deposizione polmonare a seconda del diametro delle particelle.

Prima di raggiungere i polmoni, i particolati devono oltrepassare delle barriere naturali, predisposte dall'apparato respiratorio stesso (cammini tortuosi, superfici pilifere umide, ecc.). Alcuni particolati sono efficacemente bloccati da tali mezzi. Si può infatti ritenere che le particelle con diametro superiore a 5 µm siano fermate e depositate nel naso e nella gola. Le particelle di dimensioni tra 0.5 µm e 5 µm possono depositarsi nei bronchioli e per azione delle ciglia vengono rimosse nello spazio di due ore circa e convogliate verso la gola. Il pericolo è invece

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

rappresentato dalla quota di particelle che raggiunge gli alveoli (quelle di dimensioni uguali o inferiori a 1 μm), dai quali viene eliminata in modo molto meno rapido e completo, dando luogo ad un possibile assorbimento nel sangue o nella linfa, con conseguente intossicazione e convogliamento all'interno del sistema vascolare o linfatico verso altri organi. Recenti studi hanno dimostrato che particelle di dimensione nanometrica possono, ad esempio, raggiungere lo stesso cervello.

Metodica della ricerca

Per meglio comprendere l'influenza delle polveri emesse nell'aria da stampanti laser (specialmente nel caso di dispositivi che operano in aree confinate e particolarmente vulnerabili da questo fenomeno, come ad esempio uffici o negozi di tipografia) risulta necessario accertare la quantità e la distribuzione delle dimensioni delle particelle di toner che vengono emesse durante la fase di lavorazione/stampa in spazi con scarsi ricambi d'aria.

Le attività svolte dal gruppo CRE^3 del Politecnico di Torino per la ditta Ecoservice Office S.r.l (denominata in seguito "Ecoservice") hanno avuto come principale obiettivo lo studio delle emissioni solide da parte di una dispositivo di stampa laser, fornito dalla Ecoservice medesima e dell'efficienza di abbattimento di un dispositivo di trattamento messo a punto sempre dalla ditta Ecoservice (figura 2).

Per tale studio sono state utilizzate due diverse metodologie di analisi:

-) studio di flussi polidispersi aspirati in diversi punti della stampante effettuato mediante l'apparecchiatura Scanning Mobile Particles Sizer (SMPS);

-) studio di campioni di filtri cartacei posti a valle del dispositivo di stampa laser, mediante microscopia elettronica a scansione (FESEM).

1. Analisi di flussi polidispersi (SMPS)

Per monitorare le emissioni solide sospese sono state approntate metodologie di analisi in continuo del dispositivo di stampa: tali analisi sono state effettuate a dispositivo spento e dispositivo acceso, cioè durante la stampa, sia a monte sia a valle di due diversi sistemi di trattamento forniti dalla Ecoservice.

L'apparecchiatura utilizzata per le analisi è un SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer Spectrometer) fornito dalla TSI (figura 3).

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

Figura 2. Dispositivo filtrante Ecoservice

Figura 3. Scanning Mobility Particle Sizer Spectrometer

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

Mediante questo strumento, ad alto contenuto tecnologico, è possibile valutare il contenuto e la distribuzione granulometrica delle polveri nanometriche disperse in un aerosol a matrice gassosa. L'intervallo di rilevabilità analitica varia da 2 nanometri ad un micron, intervallo di sicuro interesse per l'applicazione in studio.

Le prove sono state effettuate presso il Politecnico di Torino nelle seguenti condizioni operative:

- Analisi dell'ambiente di lavoro (prova denominata "bianco")

- Analisi operata facendo lavorare la stampante in condizioni standard, senza dispositivo di filtrazione fornito dalla Ecoservice onde valutare le condizioni ambientali in presenza di una stampante attiva.

- Analisi operata facendo lavorare la stampante in condizioni standard, in presenza di un dispositivo di filtrazione con filtro standard fornito da Ecosevice onde valutare le condizioni ambientali in presenza di una stampante attiva. Questo filtro sarà denominato nel seguito "commerciale". Sono stati effettuati due test: a monte e a valle del filtro.

- Analisi operata facendo lavorare la stampante in condizioni standard, in presenza di un dispositivo di filtrazione avente migliori prestazioni filtranti rispetto allo standard fornito da Ecoservice onde valutare le condizioni ambientali in presenza di una stampante in attiva e fornire un riferimento di prestazione ottimale dello stadio di filtrazione. Questo filtro sarà denominato nel seguito "Ecoservice". Sono stati effettuati due test: a monte e a valle del filtro.

- Analisi operata dopo una prova di lunga durata (circa 20.000 fogli stampati in continuo).

2. Risultati ottenuti tramite SMPS

E' possibile notare in Tabella 2 come il dispositivo acceso, con stampa in corso, produca un incremento di particelle pari in media al 500% rispetto al valore presente nell'ambiente-

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

laboratorio (dispositivo di stampa spento): il diverso valore registrato per le particelle a monte utilizzando i due diversi filtri può essere forse imputato alla diversa prevalenza fornita dagli stessi che implica una variazione dei campi di moto del sistema ed eventualmente una maggiore o minore concentrazione delle particelle emesse dalla macchina in un flusso d'aria che non sarebbe così rigorosamente lo stesso.

A valle del sistema di trattamento la concentrazione delle particelle si riduce, rispettivamente del 49.7% per Ecoservice e del 42.1 % per commerciale, a prova della buona anche se non ottima efficienza dei sistemi di trattamento (Tabella 2).

Tabella 2. Concentrazione media delle particelle tra 2 e 1000 nm.

	Stampante spenta	Stampante accesa ed in stampa continua			
		a monte del sistema di trattamento		a valle del sistema di trattamento	
		commerciale	Ecoservice	commerciale	Ecoservice
Concentrazione media particelle (#/cm^3)	8.538,91	40.453,13	48.345,67	23.455,32	24.349,63

Interessante altresì osservare la concentrazione modale (cioè il massimo valore rilevato durante un analisi di almeno 30 minuti) nelle varie condizioni di prova (Tabella 3). I valori a monte del sistema di trattamento aumentano di circa il 150% mentre a valle di tali sistemi soltanto del 50%: tale effetto va a merito ulteriore dei due sistemi di trattamento (tabella 3).

Tabella 3. Concentrazione modale della particelle tra 2 e 1000 nm.

	Stampante spenta	Stampante accesa ed in stampa continua			
		a monte del sistema di trattamento		a valle del sistema di trattamento	
		commerciale	Ecoservice	commerciale	Ecoservice
Concentrazione modale particelle (#/cm^3)	10.855	99.900	98.445	39.145	31.800

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

Gli stessi risultati esposti in tabella 2 e 3 si possono valutare sul grafico riportato in figura 4.

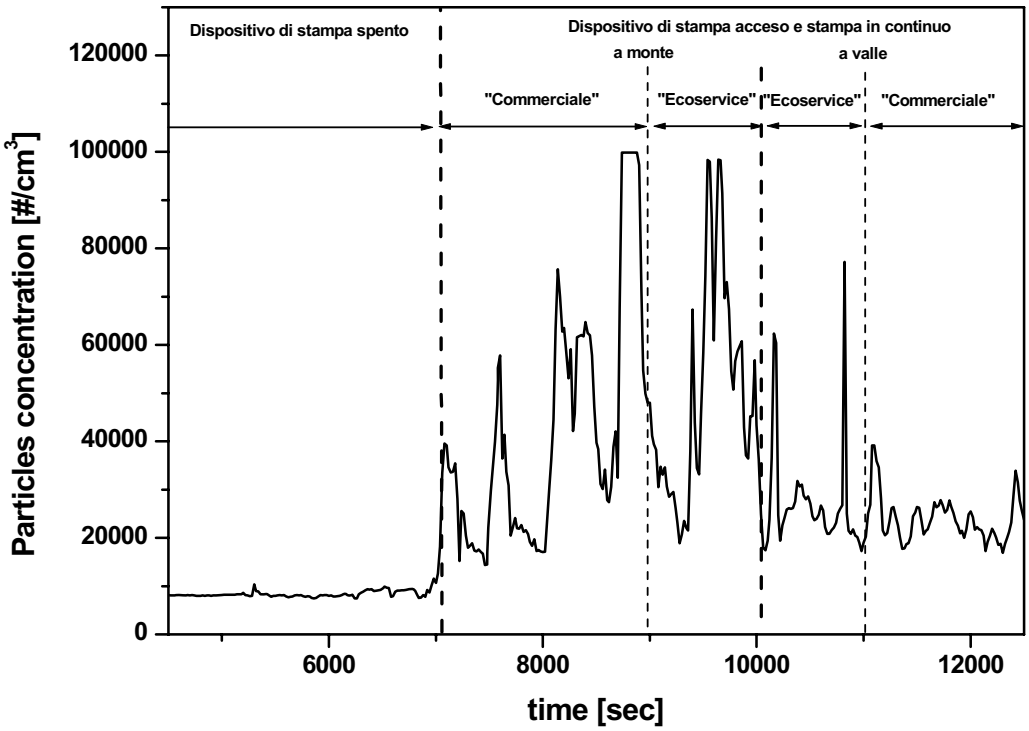

Figura 4. Concentrazione media delle particelle tra 2 e 1000 nm. Prima campagna di prove.

Nel tentativo di migliorare l'efficienza del filtro "Ecoservice" (fig. 4), il filtro cartaceo è stato modificato, in una seconda campagna di prove, ricercando una efficienza di abbattimento delle nanopolveri maggiore del 50%, imponendo una perdita di carico accettabile per sistema filtrante. Il filtro testato è stato scelto tra diversi supporti cartacei che avessero prestazioni migliori del filtro utilizzato nella prima campagna di prove e un costo compatibile con il sistema in oggetto. Inoltre, sono stati verificati tramite una serie di prove i consumi indotti dalle perdite di carico che si originavano nel dispositivo messo a punto dalla Ecoservice. E' stato scelto un filtro che fosse un buon compromesso in termini di efficienza di filtrazione e perdite di carico. i risultati sono mostrati nella figura 5.

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

I risultati ottenuti in questa seconda campagna di prove sono sicuramente interessanti. Sono stati confrontati 2 filtri di seconda generazione: il "filtro 1" ha mostrato un'efficienza di abbattimento verso le nanopolveri generate dalla stampante pari al 55%. Il secondo filtro testato "filtro 2" ha esibito un efficienza di abbattimento del 70% (figura 5).

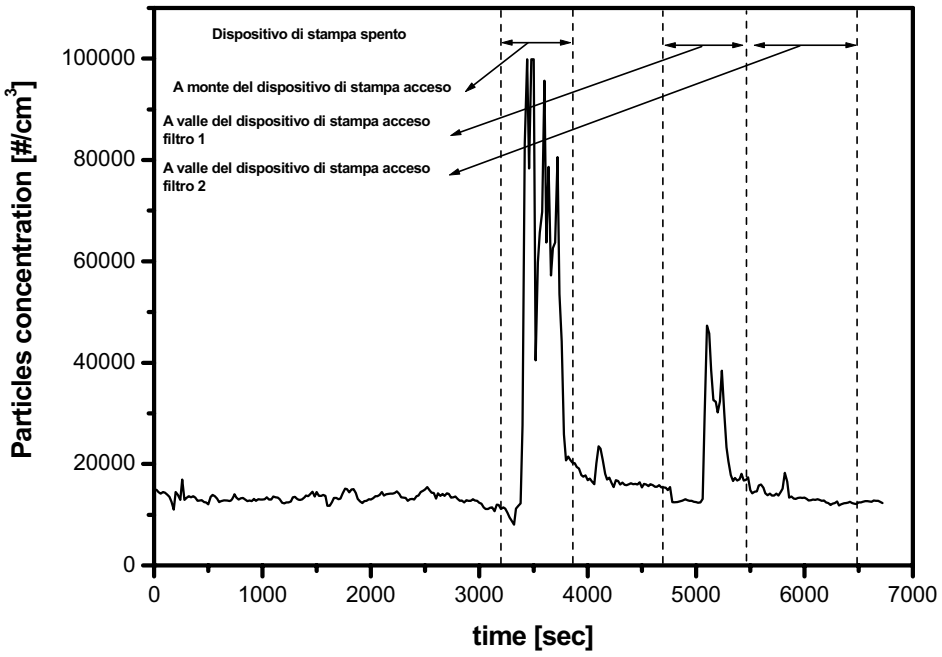

Figura 5. Concentrazione media delle particelle tra 2 e 1000 nm. Seconda campagna di prove.

2. Micrografia elettronica a scansione (FESEM)

L'utilizzo della microscopia elettronica a scansione (FESEM – figura 6) ha permesso di osservare la morfologia delle particelle catturate dal filtro cartaceo e degli eventuali aggregati, nonché di ottenere indicazioni circa la composizione chimica. Ingrandimenti sino a 100.000X permettono di osservare particelle con dimensioni di poche decine di nanometri.

E' stato effettuato studio di micrografia a scansione elettronica su campioni cartacei utilizzati come sistema di filtrazione delle emissioni solide prodotte da dispositivo di stampa laser. La strumentazione utilizzata è un Field-Emission SEM: FESEM - Leo 50 con una colonna GEMINI (fig. 6). I campioni osservati sono stati prelevati da tre diversi filtri ecoservice: un filtro pulito non

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

ancora utilizzato (fig. 7), un filtro parzialmente utilizzato (3.000 pagine stampate – fig. 8 a sinistra) e un filtro utilizzato in seguito alla stampa di 20.000 pagine (fig. 8 a destra).

Figura 6. Microscopio elettronico a scansione

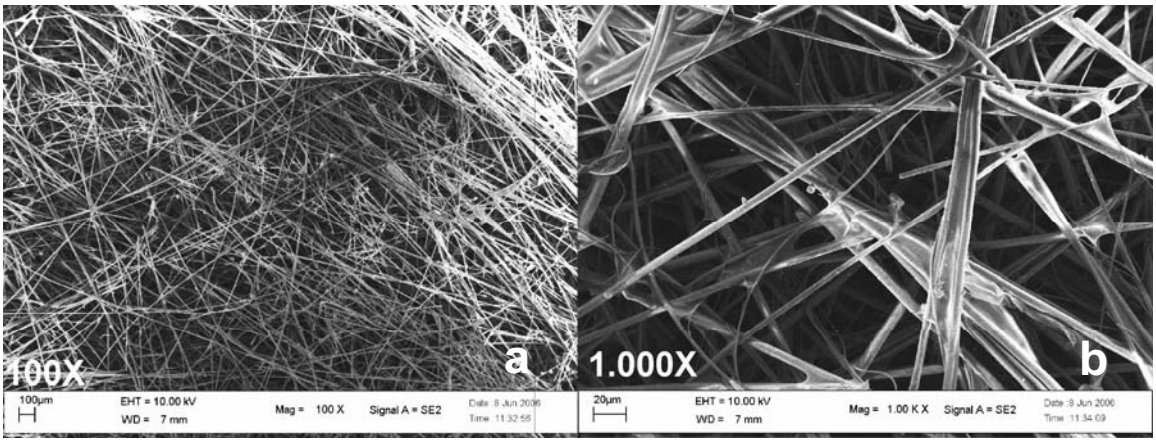

Figura 7. Micrografia FESEM a diversi ingrandimenti (a) 100X e (b) 1.000X del filtro Ecoservice pulito.

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

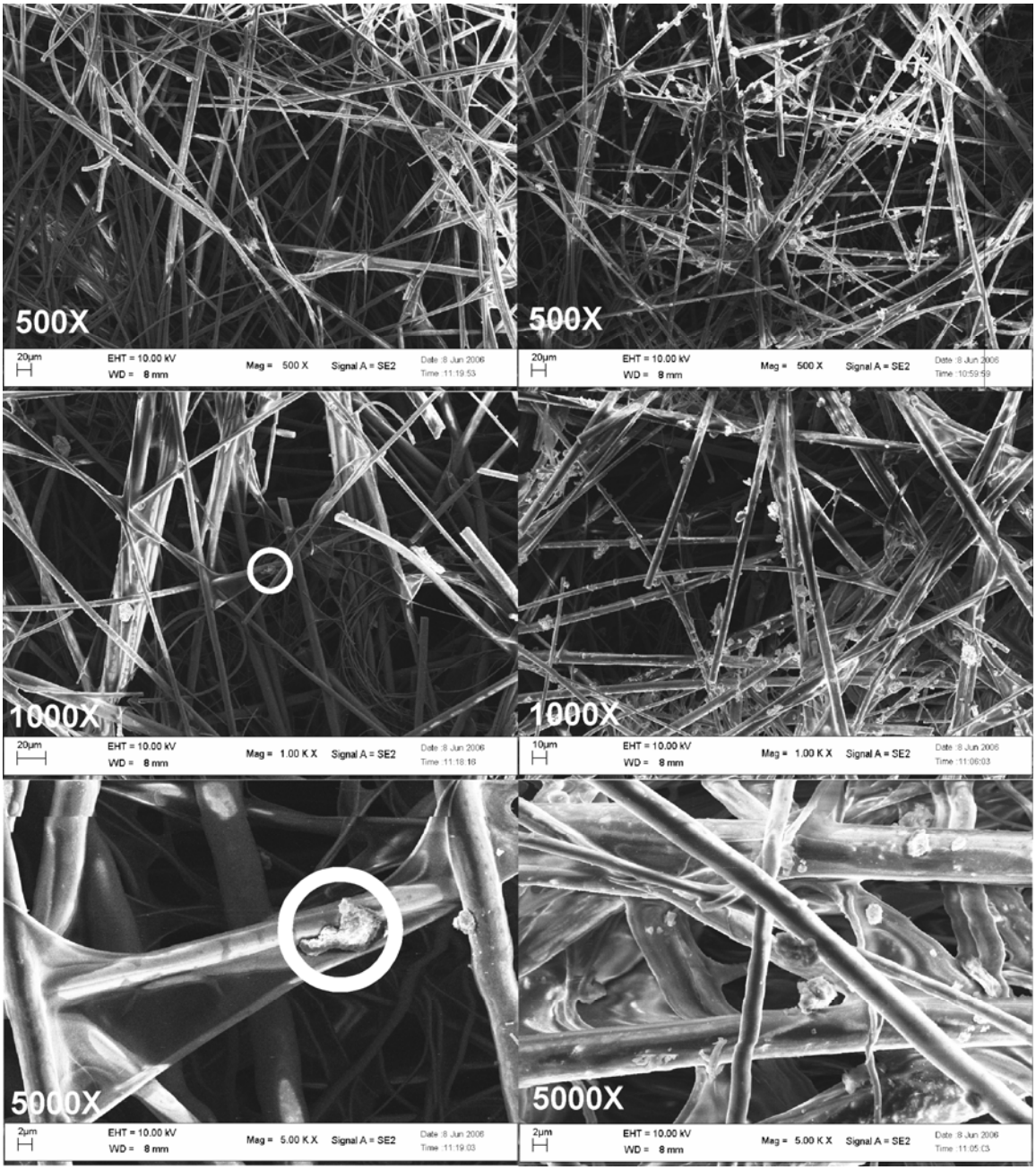

Figura 8. Micrografie FESEM: Ingrandimenti 500x, 1.000x e 5000x. A sinistra filtro Ecoservice dopo 3.000 pagine stampate; a destra filtro ecoservice dopo 20.000 pagine stampate.

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

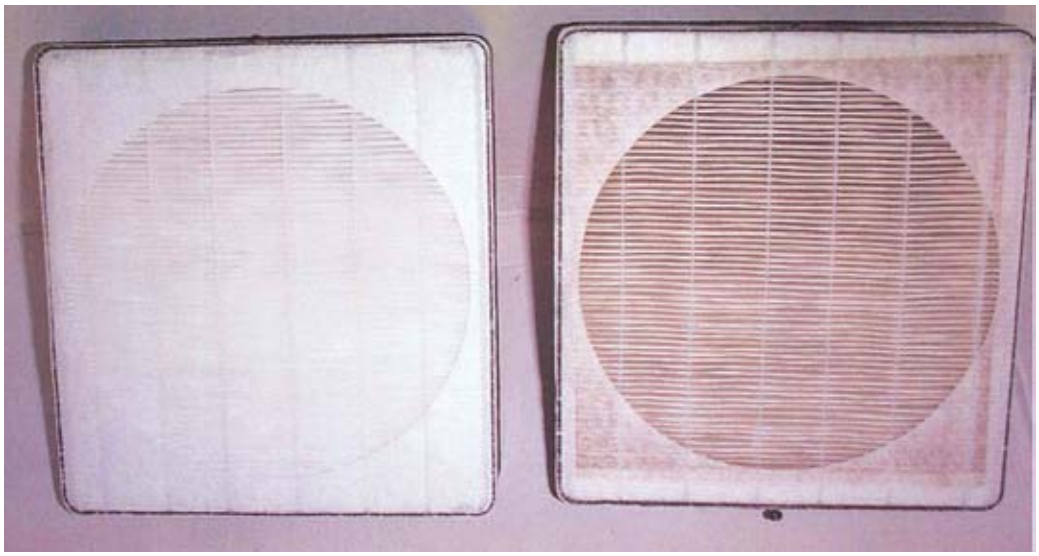

Figura 9. Filtri analizzati. A sinistra filtro commerciale pulito; a destra filtro Ecoservice dopo 20.000 di stampa.

I risultati incoraggianti, illustrati nella figura 8 a tre diversi ingrandimenti, evidenziano il deposito di particelle carboniose di svariati micron sulla matrice fibrosa del filtro (evidenziato con cerchio bianco). Tale fenomeno è maggiore, come ci si poteva aspettare, per il filtro utilizzato per la stampa di 20.000 pagine. Lo sporcamente del filtro è anche osservabile ad occhio nudo in figura 9.

Stante la dimensione nanometrica delle particelle di toner (vedi Figg. 4 e 5) è sen'altro da ritenersi che i filtri comportino, all'atto della filtrazione, anche una agglomerazione delle particelle nanometriche a costituire particelle microbiche, ben meno pericolose delle precedenti se, per un eventuale malfunzionamento del filtro, queste dovessero venire liberate nell'ambiente. A queste dimensioni particellari l'agglomerazione può ritenersi praticamente irreversibile grazie all'azione delle forze di Van der Waals che ostacolano la rottura degli agglomerati formatisi.

3. Conclusioni

Alla luce dei risultati discussi è possibile in conclusione affermare che:

-) i filtri cartacei Ecoservice di ultima generazione garantiscono un abbattimento di rilievo (50-70%) delle particelle di toner emesse dalla fotocopiatrice sottoposta ad indagine sperimentale;

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/

-) tali prestazioni sono superiori ad altri filtri commerciali o a un filtro Ecoservice di generazione precedente, senza comportare perdite di carico inaccettabili per l'utenza;

-) i filtri verosimilmente operano secondo un meccanismo di filtrazione interstiziale e superficiale, con penetrazione delle particelle all'interno della matrice filtrante e relativa agglomerazione a formare particelle microniche molto meno pericolose.

Debora Fino
Guido Saracco
Nunzio Russo

Politecnico di Torino – Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino Italia
tel: +39 011 564 4710 fax: +39 011 564 4699
e-mail: debora.fino@polito.it url: www.polito.it/dip/dichi/