

Sperimentazione di strumenti di campionamento degli inquinanti aerodispersi progettati in Clinica del Lavoro

CARLO SALA

Igienista industriale

KEY WORDS: Industrial hygiene; air sampling; aeolian classifier; impactor; cyclone; passive sampler

PAROLE CHIAVE: Igiene industriale; campionamento d'aria; separatore eolico; impattore; ciclone; campiona-tore passivo

SUMMARY

«*Experimental evaluation of air pollutant samplers designed in Clinica del Lavoro*». The development of the Industrial Hygiene at the Clinica del Lavoro in Milan was aimed to support occupational medicine in quantifying chemical and physical risks at workplaces. From 1968 to 1972, I was employed at the Clinica as industrial hygienist, in the evaluation of chemical and physical hazards, sampling, analytical procedures, handling of data and suggestion for engineering control measures. Sampling air contaminants in the assessment of workplace exposure and analytical procedures were prevalent topics at that time. Some devices for aerosol sampling were designed under the leadership of Nicola Zurlo, the head of the laboratory, in particular for the detection of the "respirable" dust fraction with aeolian classifier and others inertial separating devices such as impactors and centrifugal separators (cyclones). Furthermore, in collaboration with the physicist Vittorio Prodi, a personal sampler based on the inertial size separation of airborne particles was proposed and applied in several workplaces. The growing interest for passive samplers led to the production of a new passive sampler with conical inserts useable with different airflow to adapt the sampling process to the level of pollution. This passive sampler could also be used for the preparation of test atmospheres of known concentration of organic solvents.

RIASSUNTO

L'Igiene Industriale nasce presso la Clinica del Lavoro di Milano come esigenza della medicina del lavoro di quantificare, nei processi lavorativi, i rischi di tipo chimico e fisico. Presso la Clinica ho svolto, tra il 1968 e il 1972, attività tipica di igiene industriale: individuazione dell'esposizione a fattori chimici e fisici, valutazione dei rischi negli ambienti di lavoro, campionamento e analisi degli inquinanti, valutazione dei dati risultanti, suggerimenti per soluzioni tecniche per prevenire o minimizzare le esposizioni. Buona parte dell'attività era dedicata ai problemi del campionamento ed alla analisi degli inquinanti presenti in ambiente di lavoro. Alcuni strumenti di campionamento erano stati progettati e realizzati sotto la direzione di Nicola Zurlo, il capo del laboratorio. In particolare erano stati costruiti campionatori per la determinazione della frazione respirabile della polvere con classificatori eolici; inoltre sono stati realizzati altri separatori inerziali quali impattori o separatori centrifughi (ciclone). Successivamente, in collaborazione con il fisico Vittorio Prodi, è stato sperimentato in varie aziende un separatore inerziale delle frazioni di polvere in grado di penetrare nell'albero respiratorio. L'interesse crescente per il campionamento diffusivo ha portato poi alla realizzazione di un campionatore a geometria conica variabile rispetto alla portata di inquinante, che poteva essere usato con assorbente solido o liquido, anche per preparare atmosfere a titolo noto di solventi organici.

Pervenuto il 13.6.2019 - Revisione pervenuta il 26.7.2019 - Accettato il 23.8.2019

Corrispondenza: Carlo Sala, Igienista industriale, Via Galilei 13, 23898 Imbersago (Lecco) - E-mail: salacarlo.sala@alice.it

INTRODUZIONE

L'Igiene Industriale nasce presso la Clinica del Lavoro di Milano come esigenza della medicina del lavoro di quantificare, nei processi lavorativi, i rischi di tipo chimico e fisico con l'obiettivo di rimuoverli o renderli il più possibile trascurabili e controllare che tali rimangano nel tempo.

La mia esperienza in Clinica del Lavoro (1968-1972) inizia in un contesto di strutturazione dell'igiene industriale che viene sviluppata "in nuce" a partire dalla fine degli anni '60 del secolo scorso, e, in particolare, dopo la fondazione dell'Associazione Italiana degli Igienisti Industriali (AIDII) l'8 ottobre 1969.

Delle attività di campionamento, analisi e valutazione dei risultati, che rappresentano tre fasi inscindibili di una indagine negli ambienti di lavoro, questo lavoro approfondisce la fase di campionamento ed in particolare la messa a punto e sperimentazione di strumenti di campionamento presso la Clinica o in collaborazione esterna.

CONTESTO CULTURALE E SOCIOECONOMICO

Le prime esperienze di igiene industriale presso la Clinica del lavoro si riferiscono alla metà degli anni '50 e ai primi anni '60; esse attengono prevalentemente alla necessità di dare risposta ai problemi legati alla determinazione delle esposizioni professionali all'origine delle pneumoconiosi, in particolare della silicosi. Dopo il lavoro pionieristico di Vigliani (28), la letteratura, legata prevalentemente al lavoro in miniera, si può ritrovare nei fascicoli della rivista la Medicina del Lavoro di quegli anni (7, 12-14, 16, 30-31). Esempi di determinazione delle polveri in miniera erano state riportate anche in precedenza negli Atti della Conferenza di Johannesburg sulla silicosi (1930) (10).

A partire dagli anni '60 il boom economico aveva creato innovazioni tecnologiche, la moltiplicazione della forza lavoro nell'industria, la trasformazione dell'organizzazione del lavoro e contemporaneamente era cresciuta la presa di coscienza delle forze sindacali dei problemi della salute e della sicurezza negli ambienti di lavoro. Le forze più avanzate e coscienti dei lavoratori avevano elaborato, con l'aiuto di intellettuali e tecnici esterni, modelli originali di analisi

dei fattori di rischio che prevedevano nuove modalità di indagine negli ambienti di lavoro, con la partecipazione attiva dei lavoratori, che davano valore alla valutazione soggettiva dei rischi e dei possibili danni, ma che cercavano anche possibili soluzioni di miglioramento dell'ambiente di lavoro. Ciò costituiva stimolo al rinnovamento per gli istituti di medicina del lavoro, che, pur rimanendo i depositari delle conoscenze sugli effetti dell'esposizione ai rischi chimici e fisici connessi con i cicli di produzione, cominciavano ad inserire nei piani didattici nuovi elementi di insegnamento e di ricerca, ivi compresa l'igiene industriale. Contemporaneamente, alcune grandi aziende nazionali cominciavano a strutturare nuclei di igiene industriale presso i servizi medici aziendali o all'interno di strutture tecniche aziendali o in collaborazione con istituti universitari. Presso la Clinica del Lavoro di Milano ha avuto sede il laboratorio di igiene industriale Montecatini. Agli istituti universitari di medicina del lavoro facevano anche riferimento organismi istituzionali centralizzati per la prevenzione degli infortuni, quali l'Ente Nazionale Prevenzione Infortuni (ENPI), o assicurativi, quali l'Istituto Nazionale Assicurazioni Infortuni sul Lavoro (INAIL), o di controllo, quali l'Ispettorato del Lavoro.

Per fare crescere l'igiene industriale gli obiettivi che ci si poneva erano:

- quantificare l'esposizione a sostanze nocive mediante metodi di campionamento e analisi sempre più sensibili, specifici e accurati;
- reperire dal mercato o mettere a punto strumenti di campionamento idonei ad inquinanti partecellari o in fase vapore/gassosa;
- seguire l'evoluzione dei limiti di riferimento;
- strutturare un laboratorio di Igiene Industriale con le dotazioni strumentali in grado di garantire una elevata qualità dei dati analitici relativi alle matrici ambientali e biologiche, tenendo conto di una evoluzione rapida per gli strumenti analitici e di una evoluzione lenta per gli strumenti di campionamento. Occorreva tenere conto anche della necessità di dotarsi di strumenti di misurazione dei parametri fisici: rumore, vibrazioni, microclima, illuminazione.

Si trattava di una fase ancora pionieristica in cui si era costretti a modificare ed adattare in continuo, sulla base delle esperienze in campo, strumenti e mo-

dalità di campionamento e metodiche analitiche e si era alla continua ricerca di informazioni utili nella letteratura specifica e nei pochi testi a disposizione. Occorreva inoltre arricchire il bagaglio di conoscenze in campi che incrociano trasversalmente l'attività di valutazione dei rischi negli ambienti di lavoro.

Tra i problemi ricorrenti vi era la scarsità di documentazione scientifica relativa alla quantificazione degli inquinanti presenti nell'aria degli ambienti di lavoro. Il materiale bibliografico e di letteratura attinente alla valutazione dell'esposizione a sostanze pericolose e tossicologicamente attive era disponibile prevalentemente presso gli igienisti industriali americani ed il numero delle sostanze per le quali erano note metodiche di campionamento e analisi era ancora modesto. Tra i manuali di interesse per il campionamento e la misura di inquinanti presenti nell'aria si possono citare:

- "Air sampling instruments", 1962, pubblicato a partire dal 1960 dalla Associazione americana degli igienisti industriali governativi (ACGIH) che costituiva la prima raccolta organica degli strumenti di campionamento (2);
- "The determination of toxic substances in air, A manual of ICI practice" pubblicato nel 1956 e rivisto nel 1965, che ha fatto propri, su licenza, alcuni metodi contenuti nei booklets 1-14 dei "Methods for detection of toxic substances in air" pubblicati per H.M. Factory Inspectorate, Ministry of Labour da H.M. Stationery Office, UK (8). Descriveva i metodi di campionamento dell'aria e le metodiche analitiche per la determinazione degli inquinanti organici nei luoghi di lavoro e di alcuni metalli presenti sotto forma di fumi e polveri;
- "Metodi semplici di microdeterminazione dei tossici industriali dispersi nell'aria" a cura di N. Zurlo e L. Metrico, pubblicato nel 1960 per il laboratorio di igiene industriale della Società Montecatini ubicato presso la Clinica del Lavoro di Milano. Nella prefazione del prof. E.C. Vigliani si legge: "*La determinazione della presenza e della quantità delle sostanze nocive nell'atmosfera dei luoghi di lavoro assume una importanza fondamentale nella lotta contro le tecnopatie. Affinché tali determinazioni siano praticamente possibili è necessario disporre di metodi analitici sensibili, precisi*

e facili da eseguirsi in fabbrica". Pur essendo una pubblicazione interna della società Montecatini, con diritti riservati, ha costituito un riferimento anche per altri igienisti industriali italiani ed ha continuato ad esserlo fino a metà circa degli anni '70 (30).

Le conoscenze tossicologiche costituivano un elemento necessario per stabilire le priorità dell'indagine e per impostare il monitoraggio biologico, almeno per quelle sostanze di cui si conosceva l'assorbimento, la distribuzione, la biotrasformazione e l'escrezione delle stesse o dei loro metaboliti. Il monitoraggio biologico costituiva un importante complemento del monitoraggio ambientale e veniva eseguito in buona parte dalle stesse persone e nello stesso laboratorio di igiene industriale. I principali testi di riferimento per la tossicologia, almeno fino alla metà degli anni '70, erano:

- Lauweris: "Précis de toxicologie industrielle et des intoxications professionnelles", Duculot-Gemloux 1972 (9);
- "Patty's Industrial Hygiene and Toxicology", 1967, New York (17).

Il testo di riferimento per i problemi di ventilazione generale localizzata era:

- "Industrial Ventilation (A manual of Recommended Practice)" (1) pubblicato per la prima volta dall'ACGIH nel 1951, nel 1978 aveva raggiunto la quindicesima edizione.

Per gli aspetti di benessere termico, il testo di riferimento era:

- Il manuale della American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE): Handbook of fundamentals: Physiological principles, comfort and health, (1967) (3).

Per quanto riguarda la determinazione degli agenti fisici la strumentazione disponibile e il bagaglio culturale specifico erano ancora modesti; le carenze più evidenti erano quelle che riguardavano le vibrazioni e le misure spettrali in campo UV-VIS. I testi maggiormente consultati erano:

- Physiologie du Travail (Ergonomie) di J. Sherer, Masson Editeur, Paris 1967 (27)
- l'edizione in lingua inglese di Thermal Comfort di P.O. Fanger disponibile dal 1970 presso la Danish Technical Press di Copenhagen (6).

ESPERIENZE MATURATE TRA LA FINE DEGLI ANNI '60 E GLI INIZI DEGLI ANNI '70

Le esperienze condotte in laboratorio sulle polveri silicotigene alla fine degli anni '60 del secolo scorso presupponevano l'utilizzo di uno strumento progettato, realizzato e modificato in Clinica del Lavoro: il pneumoclassificatore di Zurlo. Il pneumoclassificatore Zurlo si basava sul principio dell'impatto inerziale, era costituito da una struttura in metallo dove l'aria fluiva ad alta velocità entro un condotto a zig-zag con angolo di 90° attraverso fenditure di ampiezza decrescente da 1 a 0,2 mm; queste consentivano la raccolta di frazioni di polvere a granulometria decrescente da 20 μm a 2 μm (11). La frazione più fine poteva essere captata in un filtro, dopo passaggio in condotto elicoidale.

Nella figura 1 viene riportata una immagine dello strumento e lo schema costruttivo.

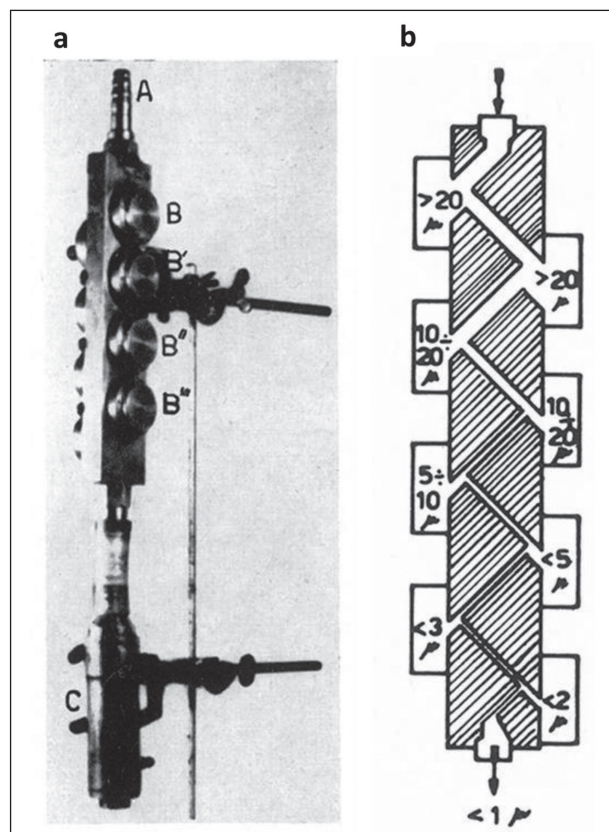


Figura 1 - Pneumoclassificatore eolico, fotografia d'epoca (a) e schema costruttivo (b)

Figure 1 - Aeolian pneumoclassifier, a photograph (a) and construction diagram (b)

Per realizzare velocità lineari elevate dell'aria comprese tra 10 e 100 m/s occorre pompe con portate superiori a 50 m³/h e di notevole peso e ingombro; il pneumoclassificatore risultava pertanto di difficile uso in ambiente di lavoro come mezzo di campionamento dell'aria, ma bene si adattava, in laboratorio, alla selezione di polveri fini, previa vagliatura, per escludere la parte più grossolana. Con il pneumoclassificatore si potevano ottenere campioni di polvere fine secondo una procedura ormai collaudata:

- raccolta della polvere sedimentata in miniera (e in reparti di lavoro);
- vagliatura fino a raccogliere il passante al vaglio di 74 μm ;
- separazione in varie frazioni fini mediante dispersione in aria in pallone chiuso e campionamento con pneumoclassificatore Zurlo;
- attacco chimico controllato delle frazioni fini con metodo Durkan modificato per l'eliminazione di carbonati e alcuni silicati e successiva filtrazione;
- essiccazione del filtrato finale;

questa polvere poteva poi essere destinata a uno a più delle seguenti fasi:

- preparazione di vetrini per l'analisi al microscopio polarizzatore e in contrasto di fase;
- selezione dei campioni da sottoporre all'analisi diffrattometrica (XRD);
- preparazione di campioni di polvere a contenuto noto di quarzo in quantità sufficiente da stoccare per successive e mirate somministrazioni alle cavie.

Di più facile impiego per valutare l'esposizione a polvere nelle varie posizioni di lavoro era la pompa a clessidra a caduta di mercurio, realizzata da Zurlo negli anni '60 (33). I dettagli costruttivi e lo schema di funzionamento e sono riportati nella figura 2.

Ad ogni caduta di 100 cm³ di mercurio dal serbatoio superiore al serbatoio inferiore veniva aspirata, con sufficiente prevalenza, la stessa quantità d'aria attraverso una membrana cellulosa a micropori su cui si depositava la polvere contenuta nell'aria su una sezione utile del diametro di circa 6 mm. In funzione della polverosità stimata venivano campionati da qualche centinaio di cm³ a 1-2 litri di aria. L'efficienza di captazione a bassa velocità lineare dell'aria

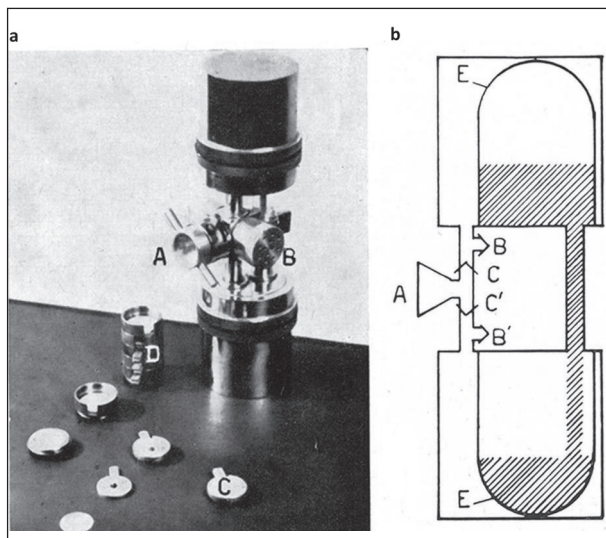


Figura 2 - Pompa a clessidera Zurlo, fotografia d'epoca (a) e schema costruttivo (b)

Figure 2 - Zurlo cleave Pump, a photograph (a) and construction diagram (b)

era molto elevata per le particelle fino a 5 μm . La membrana veniva posta su vetrino da microscopio, diafanizzata con liquidi a opportuno indice di rifrazione, ricoperta con vetrino coprioggetto e sigillata con resina trasparente. Il preparato veniva sottoposto a lettura al microscopio in contrasto di fase per effettuare il conteggio quantitativo e qualitativo delle particelle. Il risultato del numero di particelle per unità di volume campionato veniva confrontato con il valore limite di riferimento espresso nelle stesse unità (11).

Per tutti gli strumenti progettati in Clinica del Lavoro era fondamentale la collaborazione con l'officina meccanica Zambelli che provvedeva alla costruzione e alla modifica degli strumenti.

Un altro elemento importante era la sperimentazione durante le indagini in fabbrica che consentiva di ottimizzare il campionatore e la sua portabilità durante il campionamento personale. Il campionamento in posizione fissa in prossimità del lavoratore o in centro ambiente era ancora utilizzato in modo pressoché esclusivo.

Per quanto riguarda il campionamento delle polveri veniva utilizzato un campionatore a doppio cono a cui era stato sostituito il supporto a reticolo della membrana con un supporto in acciaio sinterizzato (figura 3).

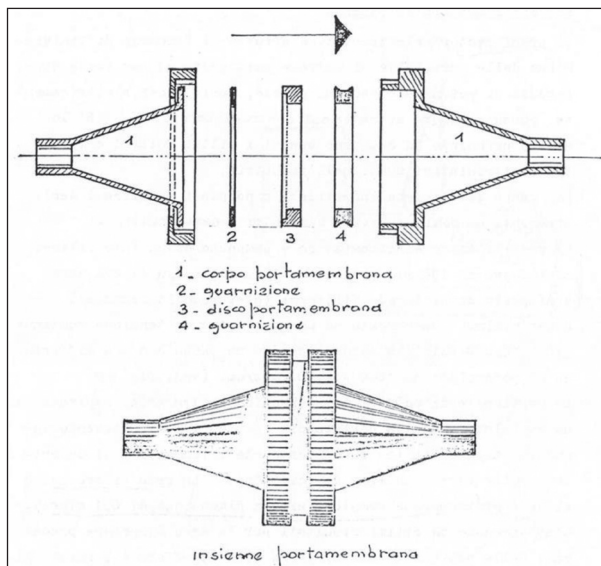


Figura 3 - Campionatore a doppio cono per polveri con supporto porta membrana in acciaio sinterizzato

Figure 3 - Double cone sampler for powders with sintered steel membrane holder

Tra la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70 venne costruito e sperimentato il preselettore Zurlo basato sul principio dell'impatto inerziale, dedicato al campionamento della frazione respirabile della polvere aerodispersa (11). La struttura era costituita da due condotti cilindrici coassiali; l'aria entrava nel condotto interno, che conteneva un riempimento metallico di particolare sezione che aumenta la velocità lineare dell'aria, la quale, successivamente, usciva attraverso due fenditure contrapposte (di larghezza di 8 mm e altezza 0,5 mm) nel condotto esterno e veniva convogliata all'esterno dopo aver depositato sulla membrana a micropori la polvere respirabile contenuta nell'aria. La polvere a diametro maggiore si accumulava in fondo al condotto più interno. Lo schema del preselettore viene riportato in figura 4.

Dato che le definizioni di frazione respirabile erano diverse, venivano costruiti preselettori a diverso potere di separazione. Le definizioni più utilizzate erano quelle formulate da istituzioni straniere americane o britanniche tra cui:

- a) la British Medical Research Council (BMRC 1952), secondo cui la frazione respirabile era "la concentrazione in massa delle particelle che passano oltre un elutriatore orizzontale con un taglio o cut-off (diametro a cui si ha il 50% di

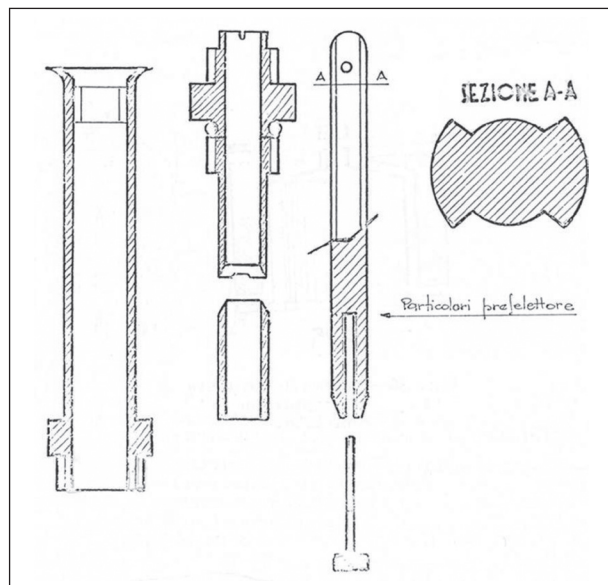


Figura 4 - Preselettore Zurlo per polveri per il campionamento della frazione respirabile

Figure 4 - Zurlo powder preselector for sampling the respirable fraction

penetrazione o d_{50}) approssimativamente eguale alla dimensione di taglio operato dalla regione di scambio gassoso". Tale definizione venne adottata dalla conferenza internazionale di Johannesburg sulla pneumoconiosi nel 1959.

- b) la US Atomic Energy Commission (AEC 1961), secondo cui la frazione respirabile era associata alla adozione di un cut-off di $3,5 \mu\text{m}$ e prevedeva la possibilità di passaggio di particelle fino $10 \mu\text{m}$.
- c) la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 1968), che aveva adottato, con poche modifiche, la curva di taglio US AEC mantenendo il cut-off a $3,5 \mu\text{m}$.

I campionatori realizzati in Clinica del Lavoro vennero inseriti nel contesto di quelli utilizzati a livello internazionale durante il simposio tenutosi a Milano del dicembre del 1975 dal titolo "Le polveri pneumoconio gene nell'ambiente di lavoro" (11), che fece il punto sulla situazione della strumentazione utilizzata tra gli anni '60 e i primi anni '70.

I campionatori si distinguevano in funzione del tipo di determinazione, che avveniva per misura del numero di particelle (A) o per valutazione del peso delle particelle (B) in rapporto all'unità di volume di aria campionata. Si assistette ad una lenta evoluzio-

ne del campionamento dalla valutazione numerica a quella gravimetrica e, infine, in funzione della conoscenza degli effetti patogeni, ad un campionamento basato sul concetto di selezione dimensionale. Questo, che permetteva di stimare le frazioni che interessavano le principali regioni dell'albero respiratorio, sostituì progressivamente il campionamento delle polveri totali sospese, sia negli ambienti di lavoro sia, in generale, negli ambienti confinati, e più recentemente anche nel controllo dell'inquinamento atmosferico. Contemporaneamente vennero approfondite le conoscenze sulle fonti di emissione, sulla distribuzione granulometrica e sulla composizione chimica di ognuna delle frazioni del particolato che possono penetrare nell'albero respiratorio. Si riconobbe il diametro aerodinamico delle particelle come elemento fondamentale in grado di determinare il comportamento delle particelle nell'aria, la penetrazione nei sistemi di campionamento e nelle varie regioni dell'albero respiratorio ed i potenziali effetti sanitari. Allo stesso tempo cambiarono le convenzioni di riferimento alla frazione respirabile e inalabile relative alla penetrazione nel sistema di campionamento.

Gli strumenti più comunemente utilizzati per la determinazione della polvere in sospensione nell'aria erano:

A) Determinazione numerica

- Owens jet counter;
- Conimetri;
- Impinger;
- Precipitatore termico;
- Pompa a clessidra Zurlo-Zambelli;
- Tindalloscopio;
- Contaparticelle in continuo;
- Cascade impactor.

B) Determinazione gravimetrica

Campionamento della "polvere totale"

- Sistemi di campionamento mediante membrana a micropori o soxhlet;
- Precipitatore elettrostatico;
- Bilancia piezoelettrica;

Campionamento con selezione dimensionale

- Pneumoclassificatore Zurlo;
- Pneumoclassificatore Mammarella;

Campionamento della "polvere respirabile"

- Elutriatori orizzontali (Hexlet, British MRE type113 A);

Conicycle;
 Simgard;
 Cicloni (Lippman, Dorr-Oliver, Higgins-Dewell);
 Impattore Zurlo.

ESPERIENZE SUCCESSIVE IN COLLABORAZIONE

La necessità di introdurre il campionamento personale ha indotto negli anni successivi alla realizzazione di nuovi strumenti di campionamento di facile portabilità nell'intorno della zona respiratoria. Per quanto riguarda la frazione inalabile della polvere sono stati costruiti campionatori a geometria conica (conetti) con portamebrana da 37, 25 e 20 mm. Per quanto riguarda la frazione respirabile è stato utilizzato il ciclone di Lippmann modificato con camera da 10 mm e quelli modificati da Luigi Pozzoli in collaborazione con Vittorio Prodi e collaboratori. Alcuni dei campionatori sono riportati nella figura 5.

La polvere di cotone accompagnata da fibre ha costituito un problema di campionamento in riferimento all'esposizione personale. Il campionatore realizzato da Lynch nei primi anni '70 era stato previsto solo per campionamenti di area, era piuttosto

voluminoso e di non facile impiego. Visti i risultati ottenuti da Gianfranco Peruzzo e collaboratori, presentati nel 4° congresso nazionale dell'AIDII nel 1980 (15), sono iniziati con Giulio Sesana e con la partecipazione della Clinica del Lavoro, i primi tentativi di miniaturizzare questo campionatore, con l'obiettivo di arrivare all'utilizzo di un elutriatore verticale idoneo per il campionamento personale. Inizialmente è stato sperimentato un campionatore costituito da un corpo cilindrico su cui potevano essere montati corpi conici con inclinazione angolare e sezioni di ingresso diverse, idonei a campionare con flussi d'aria non superiori di $3-4 \text{ L min}^{-1}$, che potevano realizzare all'interno della sezione cilindrica un flusso pressochè laminare. Il campionatore è stato sperimentato in laboratorio e in aziende tessili, anche in confronto con il campionatore di Lynch, con risultati piuttosto modesti. Si è constatato che: a parità di velocità lineare dell'aria, si ottenevano i migliori risultati con le sezioni più elevate dei coni di riduzione e che a parità della sezione di ingresso, si ottenevano i migliori risultati nell'intervallo di velocità dell'aria compreso tra $0,6$ e $0,9 \text{ ms}^{-1}$. La forma definitiva del campionatore è stata utilizzata con migliori risultati in aziende dove avveniva la lavorazione di fibre vegetali naturali (4, 5) e nello studio delle polveri di natura cellulosa. Il campionatore si è dimostrato efficace nel campionamento delle polveri di legno (25).

Campionamento personale con separazione granulometrica sulla stessa membrana

A seguito di contatti con James H. Vincent tramite Vittorio Prodi e Gianfranco Peruzzo (18) ed al seminario tenuto in Clinica del Lavoro sulle polveri nell'ottobre 1985 sulla definizione di allora delle frazioni di interesse sanitario, in particolare la polvere respirabile, si è deciso di sperimentare uno spettrometro di recente costruzione. La sperimentazione con spettrometri inerziali è stata condotta con un campionatore personale in grado di raccogliere, su un'unica membrana, la frazione estratoracica nella zona centrale, la frazione tracheo-bronchiale nella zona intermedia e la frazione respirabile nella zona esterna. La separazione fisica delle tre frazioni veniva realizzata con apposita taglierina. La determina-



Figura 5 - Esempi di campionatori personali per polveri
Figure 5 - Example of personal sampler for powders

zione gravimetrica veniva eseguita su ciascuna delle frazioni oltre che sulla membrana intera. L'efficienza di separazione era legata alla precisione del flusso di campionamento primario, pari a 4 L/min, e del flusso di aria filtrata, ottenuto con un partitore 1:1 tarato, che viene riimmesso nel flusso primario. Il flusso complessivo veniva portato all'ugello di 4 mm di diametro posto sull'asse del filtro a membrana ad una distanza di 2 mm; le linee di flusso compivano una curvatura di 90° e le particelle venivano deviate per inerzia dal filetto fluido iniziale in funzione del loro diametro aerodinamico. Le particelle venivano campionate attraverso due fenditure semicircolari di 15 mm di diametro circondate da un rilievo di 1,5 mm. Queste caratteristiche consentivano di realizzare un ingresso in grado di seguire la curva di ispirabilità evidenziata da Vincent (29). Lo schema dello spettrometro inerziale per il campionamento di polveri è riportato in figura 6, mentre in figura 7 lo spettrometro inerziale è indossato da un lavoratore in zona respiratoria.

Le prove di interconfronto furono realizzate in una camera di esposizione di circa 7 m³ di volume esponendo ad aerosol di cloruro di cobalto coppie di strumenti tra cui: lo spettrometro inerziale IN-SPEC, il ciclone di Lippmann per il campionamento di area, il ciclone di Lippmann per il campionamento personale, il campionatore a cono, il campionatore personale PerSpec. I risultati dell'interconfronto misero in evidenza che il PerSpec era in grado di dare informazioni affidabili delle frazioni di interesse rispettando le convenzioni allora in essere. Nei

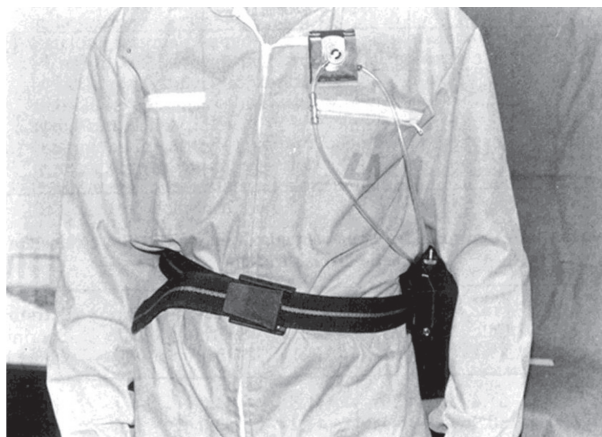


Figura 7 - Spettrometro inerziale indossato da un lavoratore in zona respiratoria

Figure 7 - Inertial spectrometer worn by a worker in the respiratory zone

luoghi di lavoro le condizioni non possono essere così controllate da garantire gli stessi risultati della sperimentazione in laboratorio; sono comunque stati ottenuti anche in campo dei risultati mediamente soddisfacenti (19-23).

Campionatore per diffusione

L'interesse per il campionamento diffusivo è cresciuto attorno agli anni '80 a causa della semplicità operativa e della possibilità di estendere il monitoraggio ambientale ad un numero più elevato di soggetti. Sono emerse in parallelo l'esigenza di approfondimento teorico dei fenomeni di trasporto diffusivo degli inquinanti in funzione dei parame-

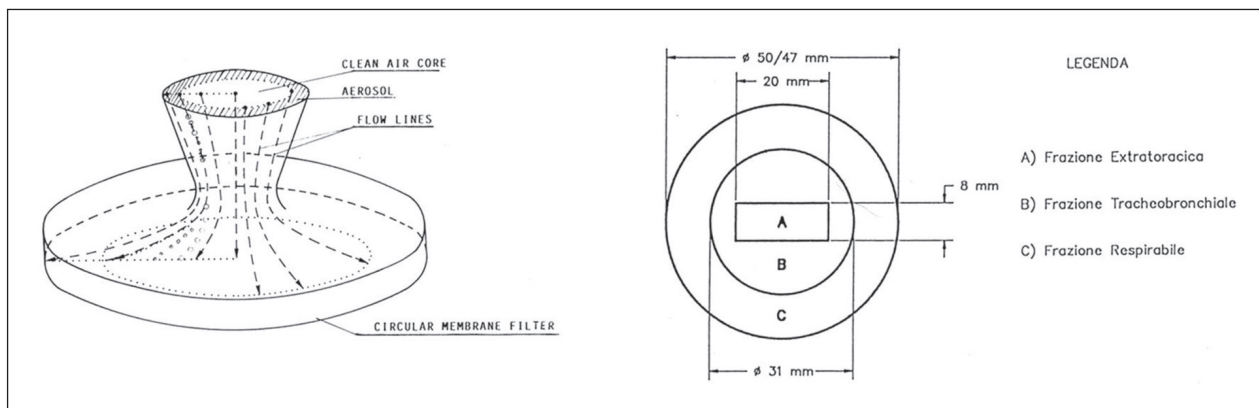


Figura 6 - Spettrometro inerziale per il campionamento di polveri e separazione di differenti frazioni granulometriche

Figure 6 - Inertial spectrometer for personal sampling of powders with a separation of the different size fractions

tri ambientali e dei mezzi di captazione e inoltre è emersa l'esigenza di validazioni sperimentali. Nella letteratura specifica comparivano sia elaborazioni teoriche che confronti, anche in ambiente di lavoro, tra campionatori attivi e campionatori passivi allora in uso proprio nell'ambito di validazioni sperimentali. Si è perciò deciso di sperimentare questi sistemi. Tra le sperimentazioni condotte è stato dato maggior spazio a quelle che prevedevano, come mezzo di captazione dell'inquinante, un liquido di assorbimento o assorbimento con reazione, in quanto meno ricorrenti in letteratura. Il campionatore a

cono ideato da Nicola Zurlo era costituito da una camera cilindrica di teflon alta 30 mm e di 35 mm di diametro in cui veniva inserito un cono di 17,3 mm di altezza con diametro interno della circonferenza superiore di 32 mm e di 12 mm della circonferenza inferiore. Nella camera venivano inserite quantità di liquido tra 0,5 e 2 cm³, senza variazioni apprezzabili del funzionamento della camera di diffusione a causa della diversa lunghezza del percorso di diffusione. La camera conica poteva essere variata di volume (figura 8) inserendo tronchi di cono a sezione decrescente e, conseguentemente, poteva essere variato il

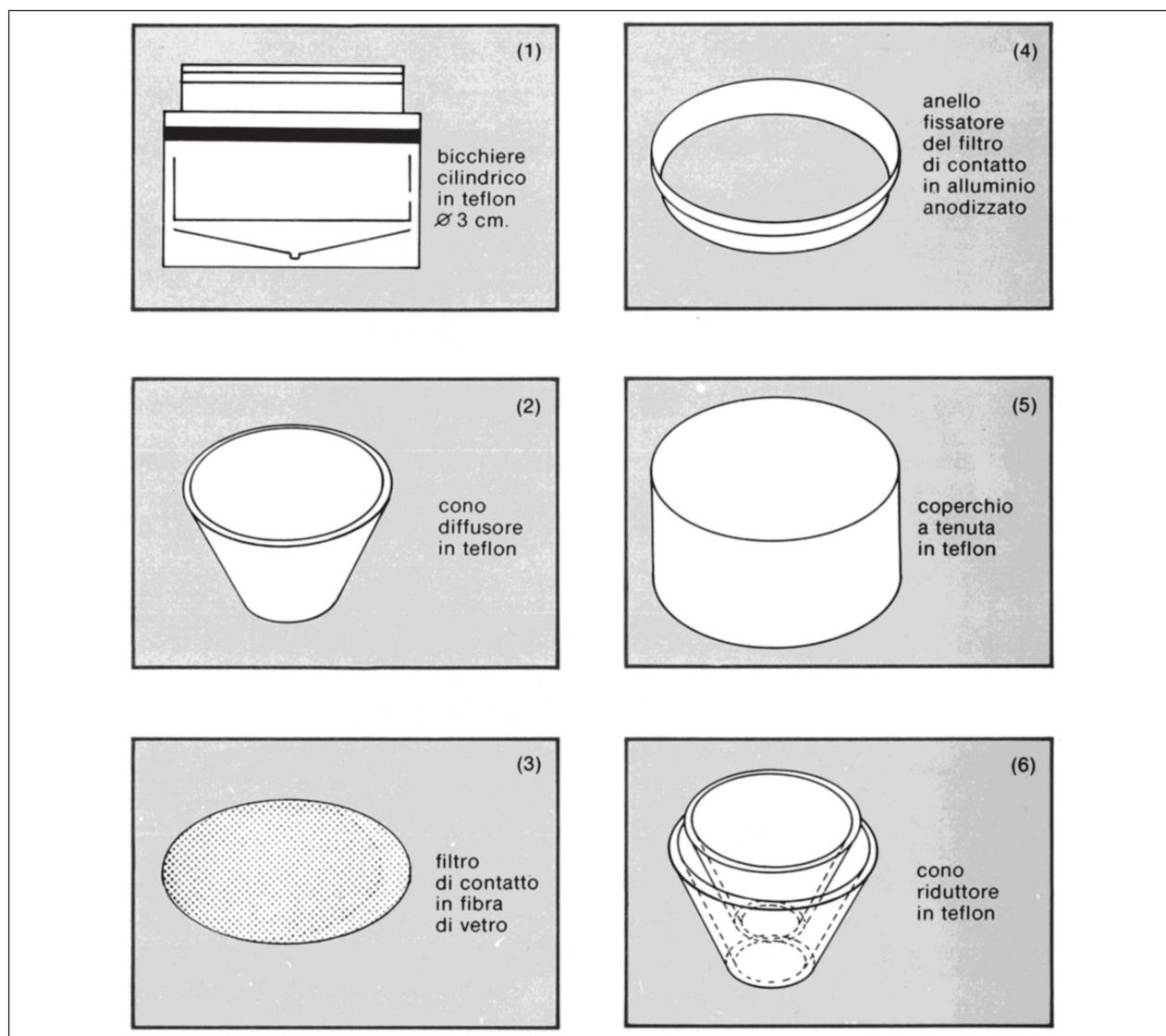


Figura 8 - Campionatore diffusivo a geometria conica

Figure 8 - Conical diffusive sampler

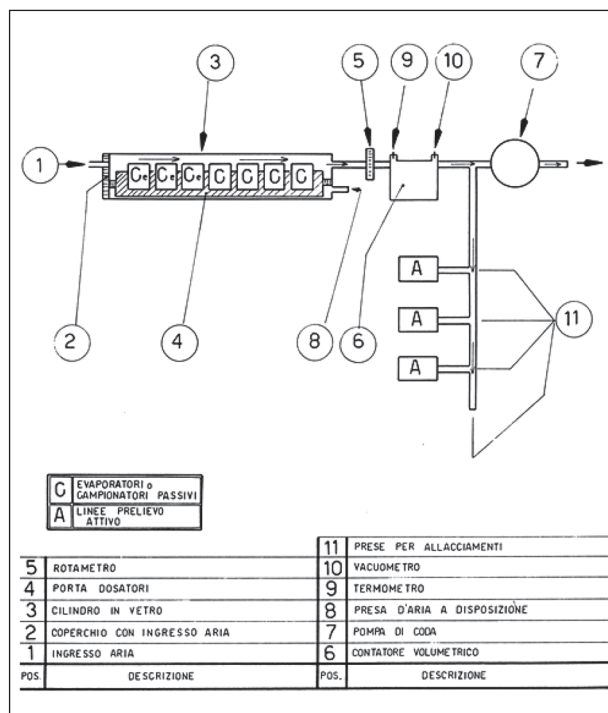


Figura 9 - Campionatore per diffusione basato sulla evaporazione per diffusione e simultaneo campionamento attivo e diffusivo

Figure 9 - Diffusive sampler based on evaporation by diffusion and simultaneous active and diffusive sampling

flusso di analita garantendo una maggiore versatilità di impiego.

Le tipologie sperimentali di questi campionatori per diffusione erano le seguenti:

- evaporazione per diffusione per tempi sufficientemente lunghi per determinare la massa evaporata;
- evaporazione per diffusione e campionamento simultaneo per diffusione;
- evaporazione per diffusione e campionamento simultaneo attivo e diffusivo (figura 9);

I risultati delle sperimentazioni in laboratorio e in campo sono stati ritenuti soddisfacenti e presentati in varie sedi (24, 26, 32).

CONCLUSIONI

L'attività svolta presso la Clinica del Lavoro tra il 1968 e il 1972 e quella svolta in collaborazione esterna negli anni successivi, fino alla fine degli anni '80, ha dato buoni frutti nella progettazione e/o nell'ap-

porto di modifiche migliorative degli strumenti di campionamento di inquinanti in fase vapore, gassosa o aerosol. Sono stati presi in considerazione i fattori influenti sul risultato del campionamento, in particolare per quanto riguarda gli aerosol: caratteristiche chimico-fisiche e dimensioni delle particelle, velocità di ingresso dell'aria, quantità di massa campionata, distribuzione sulla membrana, mantenimento della portata costante, dettagli costruttivi per la tenuta dell'aria, regolarità delle superfici di contatto e assenza di porosità, possibilità di rimbalzi e trascinalenti delle particelle, formazione e frantumazione di agglomerati, trattenimento di particelle nelle pareti interne. Gli strumenti messi a punto o modificati venivano sperimentati in campo in parallelo ad altri strumenti ad efficienza nota. Analogamente si procedeva, con minori difficoltà, per i campionatori di inquinanti in fase vapore o gassosa. Questa esperienza mi ha consentito di valutare criticamente i risultati dei campionamenti e di seguire in modo attento l'evoluzione delle convenzioni sulle definizioni di frazione respirabile e la conseguente costruzione di campionatori adeguati alle stesse.

L'AUTORE NON HA DICHIARATO ALCUN POTENZIALE CONFLITTO DI INTERESSE IN RELAZIONE ALLE MATERIE TRATTATE NELL'ARTICOLO

BIBLIOGRAFIA

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Industrial Ventilation (A manual of Recommended Practice), eleventh edition. Committee on Industrial Ventilation, Lansing, Michigan, 48901, USA, 1970
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH: Air Sampling Instruments for evaluation of Atmospheric Contaminants. 1014 Broadway, Cincinnati 2, Ohio, USA, 1962)
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). ASHRAE Handbook of Fundamentals. New York, 1967
4. De Rosa E, Bartolucci GB, Caprara C, Breviglieri MA, Sala C, Rausa G: Flax and sisal dust: comparison between various sampling methods. 23rd International Congress on Occupational Health. Montreal-Canada, 22-23 September 1990. Book of Abstracts, 130
5. De Rosa E, Cocheo V, Sala C, et al: Valori Limite e metodi di campionamento per le polveri vegetali. Atti del II

- Convegno Nazionale "Salute nell'attività produttiva tessile". Prato, 1991:71-76
6. Fanger PO: Thermal Comfort. Danish Technical Press, Copenhagen, 1970
 7. Frigerio G, Zurlo N: Procedimento rapido di analisi di routine per la determinazione del quarzo per via debyeografica e chimico-petrografica. *Med Lav* 1955; 46: 549
 8. Hanson NW, Reilly DA, Stagg HE, Editor: The determination of toxic substances in air, A manual of ICI practice. Printed by W. Heffer, Cambridge, UK, second edition 1965
 9. Lauweris, R: Précis de toxicologie industrielle et des intoxications professionnelles, Duculot-Gemloux. Paris, 1972
 10. McEwen AF, Buist J: The nature and source of dust in mine air, together with a brief reference to those operations which produce dust (tab. A,B,C). Proceedings of the International Conference held at Johannesburg 13-27 August 1930. International Labour Office Studies and Reports Series F (Industrial Hygiene) No. 13: 129-140
 11. Metrico L, Pozzoli L, Sala C: Metodiche di prelievo delle polveri pneumoconio gene nell'ambiente di lavoro. Atti del simposio: Le polveri pneumoconio gene nell'ambiente di lavoro. Milano 15-16 gennaio 1975, Museo della Scienza e della Tecnica. *Giornale degli Igienisti Industriali - Supplemento al n.1, Dicembre 1976*
 12. Occella E, Henking E: Researches on Differential grinding of Rocks and Synthetic Materials to Different Technique of Comminution. *Med Lav* 1961; 52: 81
 13. Occella E: Significato comparato di determinazioni numeriche e gravimetriche della concentrazione delle polveri nell'atmosfera. *Med Lav* 1964; 55: 122
 14. Occella E: La determinazione della silice libera cristallina con metodi combinati chimico-petrografico- debyeografici. *Med Lav* 1957; 48:11
 15. Omarini S, Patroni M, Peruzzo GF, Sermini A: Polveri di cotone, considerazioni sull'uso dell'elutriatore verticale di Lumsden-Lynch per l'esecuzione di campionamenti riproducibili. Atti del IV Congresso nazionale della Associazione Italiana degli Igienisti Industriali - Milano, 1982
 16. Parmeggiani L, Peretti L, Zurlo N, Occella E: La determinazione della pericolosità agli effetti della silicosi nelle lavorazioni pericolose. Atti del congresso nazionale di Medicina del Lavoro. St. Vincent (20- 23 settembre 1952)
 17. Patty FA, ed: Industrial hygiene and toxicology. 2nd rev. ed. New York, NY: Interscience Publishers, Inc., 1963
 18. Peruzzo GF, Sala C: La frazione respirabile: misura e caratterizzazione. *Med Lav* 1989; 80: 71
 19. Prodi V, Belosi F, Sala C, Zedda S: Campionamento personale con separazione della frazione respirabile, tracheobronchiale ed extratoracica: considerazioni generali ed esperienze "in campo". Atti del 53' Congresso della società di Medicina del Lavoro e Igiene Industriale. Stresa, 1990
 20. Prodi V, Sala C, Belosi F, et al: Campionatore personale con separatore dimensionale: esperienza operativa con il PerSpec. *Giornale degli Igienisti Industriali* 1989; 14: 21-27
 21. Prodi V, Sala C, Belosi F, Biliotti A, Agostini S: Campionatore personale con separazione granulometrica (PerSpec): prove di interconfronto. *Giornale degli Igienisti Industriali* 1991; 16 (3):53-65
 22. Prodi V, Sala C, Belosi F: PerSpec, personal size separative sample: operational experience and comparison with other field devices, AAAAR meeting, Philadelphia, 1990
 23. Prodi V, Sala C, Belosi F, et al: Perspec, personal size separating sampler-Operational experience and comparison with other field devices. *J Aerosol Sci* 1989; 20:1565-1568
 24. Sala C, Andreoletti F: The performance of a new diffusive sampler for organic vapours and inorganic gases: laboratory experiments and field tests. International Congress of Industrial Hygiene. Roma, 1986
 25. Sala C, Sesana G, Bernabeo F: Proposta di un elutriatore per il campionamento personale di polvere di legno - Atti del VI Congresso nazionale della Associazione Italiana degli Igienisti Industriali. Bologna, 1984
 26. Sala C: Passive sampling with liquid or solid substrate. DIFFUSIVE SAMPLING. In Berlin A, Brown RH, Saunders KJ (eds): Proceedings of an International Symposium held in Luxembourg, 22-26 September 1986
 27. Scherrer J, et al: Physiologie du travail (Tomo 1). Masson. Paris, 1967
 28. Vigliani EC: Nuovi strumenti per il controllo della polverosità atmosferica nelle industrie silicotigene. *Rass Med Ind* 1946; XV: 1
 29. Vincent JH, Mark D: *Ann Occ Hyg* 1986 30: 89-102
 30. Zurlo N, Metrico L: Metodi semplici di microdeterminazione dei tossici industriali dispersi nell'aria" a cura di. Pubblicazione interna della società Montecatini. 1960
 31. Zurlo N, Griffin AM: Determinazione chimica del quarzo nei minerali e nelle polveri. *Med Lav* 1954; 45: 675
 32. Zurlo N, Metrico L, Sala C, Andreoletti F: Apparatus for the preparation of atmospheres with known constant concentration of organic solvents. DIFFUSIVE SAMPLING. In: Berlin A, Brown RH, Saunders KJ (eds): Proceedings of an International Symposium held in Luxembourg, 22-26 September 1986
 33. Zurlo N: Counting of atmospheric dust using Millipore filters. *Med Lav* 1960; 51: 660