

INDAGINE AMBIENTALE

**A. Borroni,
B. Mazza,
G. Nano**

Dipartimento di Chimica-Fisica Applicata.
Gruppo per gli Studi sui Sistemi di Produzione e sul Lavoro,
Politecnico di Milano

in una fonderia per
getti in ghisa di basso
e medio tonnellaggio

La fonderia di ghisa che è stata oggetto dell'indagine ambientale presenta una produzione notevolmente dispersa su vari tipi di getti di basso e medio tonnellaggio (principalmente fra 100 e 5000 kg). I materiali prodotti sono prevalentemente in ghisa lamellare; quote minori in ghisa sferoidale e ghise per impieghi speciali (temprabili per macchine utensili, resistenti al calore, resistenti all'usura), ottenute con l'aggiunta di elementi di lega. L'organico è costituito da 28 addetti, organizzati principalmente su due turni di lavoro consecutivi e in parte su turno giornaliero.

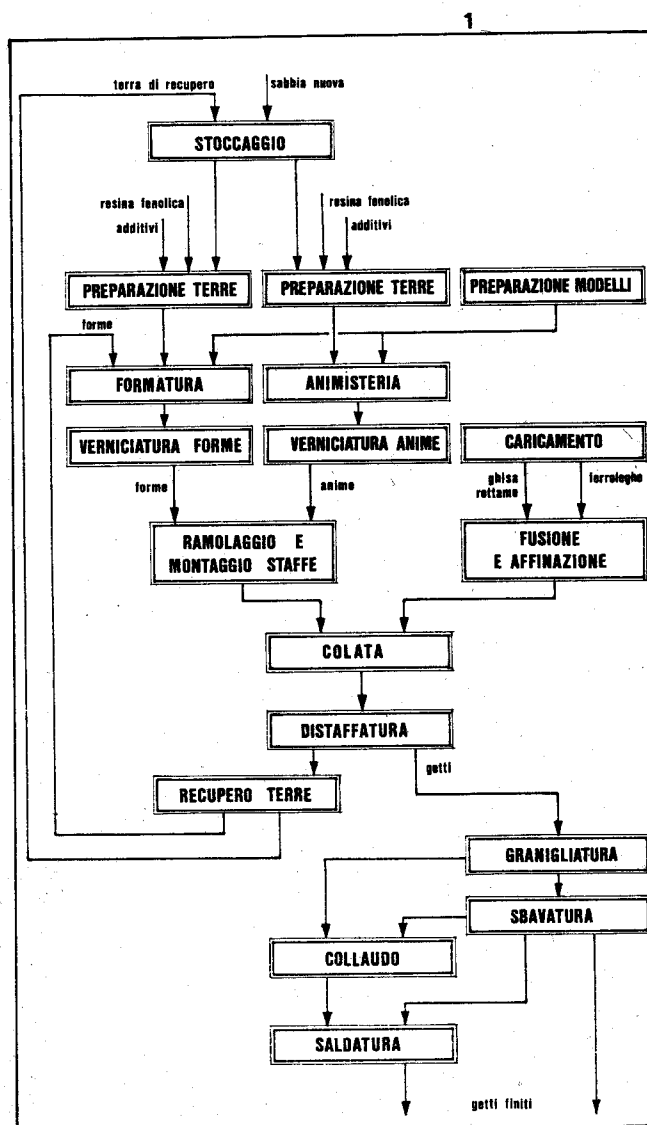
colare e del numero dei pezzi da realizzare in serie, condiziona tutto il ciclo e le attrezzature adottate. Il processo a freddo, con l'impiego di sabbia silicea ad-

Fig. 1 - Schema a blocchi delle operazioni effettuate nella fonderia esaminata.

Schema degli impianti e organizzazione del lavoro

Lo schema a blocchi riportato in figura 1 individua la successione delle operazioni eseguite nel corso del normale funzionamento degli impianti (sono quindi esclusi gli interventi di manutenzione e ripristino). Le posizioni di lavoro, unitamente agli impianti principali, sono indicate nella planimetria di figura 2. Per ogni postazione di lavoro sono state brevemente identificate le operazioni effettuate e la loro durata (tempi di permanenza degli addetti), le materie prime, i materiali e le attrezzature utilizzate e i rischi potenzialmente presenti desumibili dalla letteratura tecnica e tossicologica (1,2). Queste informazioni (sintetizzate in Tabella I) hanno consentito di formulare una prima valutazione del ciclo esaminato e di orientare i rilievi per la quantificazione strumentale dei rischi fisici e chimici.

La scelta del sistema di formatura, attuata in funzione della taglia dei getti da



dizionata con resina fenolica e acido p-toluensolfonico, è condotto realizzando il riempimento delle forme in modo manuale, senza ricorrere a macchine pressatrici e a caroselli per la movimentazione. Analogamente la distaffatura esclude il ciclo a carosello: è invece installato un impianto per il recupero della terra dotato di tramoggia di raccolta, vibratore rompigrumi, nastri di convogliamento e smagnetizzazione e sistema di rigenerazione della sabbia per lavaggio in aria. La scarsa meccanizzazione, nelle diverse fasi e nelle movimentazioni, comporta quindi un elevato impegno fisico per gli addetti; d'altra parte risultano ridotte le sorgenti di possibile rumorosità, anche tenendo presente che viene utilizzato un forno a induzione.

L'intero ciclo (a parte l'impianto di recupero terre e la granigliatrice) si caratterizza anche per l'assenza di aspirazioni localizzate o estrattori d'aria adeguati per il ricambio dell'aria ambiente.

Rilevazioni effettuate e valutazione dei risultati

L'indagine ambientale ha avuto come obiettivo primario quello di individuare i

principali fattori di rischio, sia come intensità che come estensione (numero di esposti, tempi di permanenza). Fra i rischi potenziali identificati dalla letteratura specialistica, non si sono presi in considerazione unicamente i campi elettromagnetici e le vibrazioni (rischi per altro circoscritti ad aree o addetti ben identificati), e si è tentato invece una quantificazione più estesa per gli altri.

Microclima

Le misure di microclima invernale (Tabella II) sono state effettuate nel periodo centrale di una giornata di dicembre (i parametri esterni misurati fra le 11 e le 16 sono risultati poco variabili: temperatura dell'aria 6,3-7,7°C, umidità relativa 43-60%, velocità dell'aria 0,3-1,3 m/s). Sono state riscontrate condizioni estremamente omogenee per le diverse aree di lavoro (animisteria, formatura, area colata senza getti in raffreddamento, distaffatura, granigliatura): temperatura dell'aria 10,7-11,8°C, umidità relativa 45-50%, velocità dell'aria inferiore a 0,4 m/s.

Si è scelto di non fare esclusivo riferimento a indici complessivi per la valutazione del microclima (indici peraltro

insufficienti per le condizioni di attività prevalentemente medio-pesante della fonderia), ma di esaminare i singoli parametri fisici (3).

È anche interessante confrontare le misure effettuate all'interno del reparto (posizioni di centro ambiente) e all'esterno: mettendo in relazione i dati rilevati alla medesima ora si può osservare che il salto termico interno-esterno si mantiene costante intorno ai 4-5°C: le condizioni microclimatiche esterne vengono quindi riprodotte, con una correzione in generale insufficiente, all'interno del reparto.

Le misure effettuate nel pe-

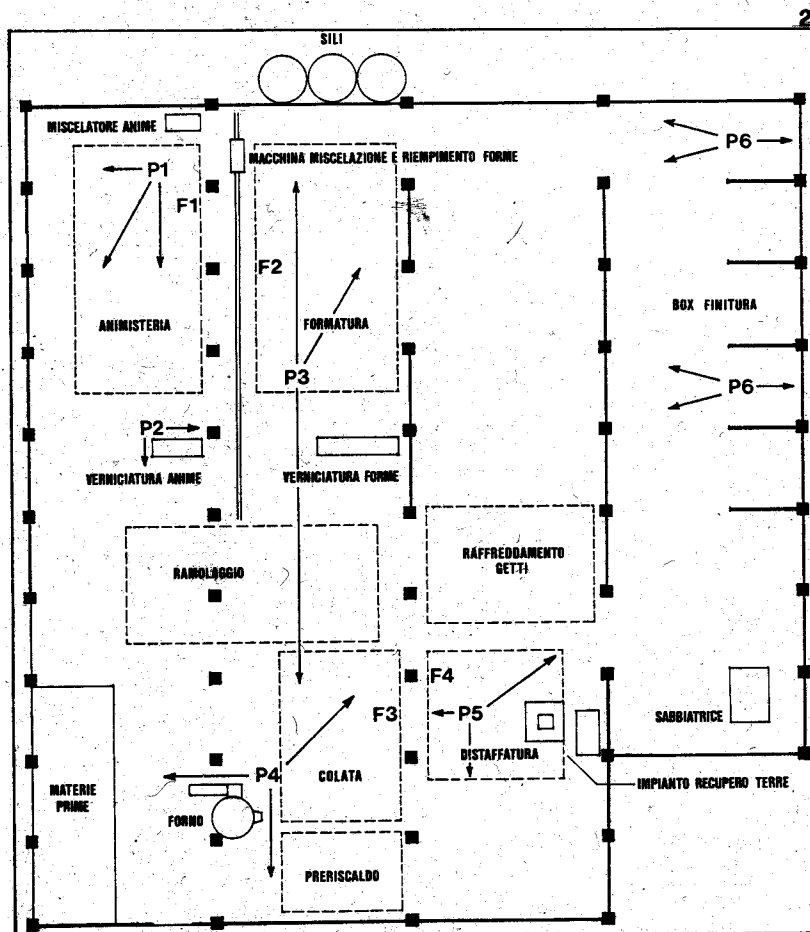


Fig. 2 - Disposizione degli impianti e indicazione delle postazioni di lavoro nel corso del normale esercizio. Sono pure date in sovrapposizione la disposizione dei prelevatori fissi (F) e una indicazione delle aree in cui hanno operato gli addetti con prelevatori personali (P) di inquinanti chimici (vedere Tabelle da IV a VIII).

Tabella I - Indicazione delle postazioni di lavoro e dei rischi potenziali nella fonderia esaminata.

Postazione	Materie prime Operazioni effettuate (durata giornaliera) Materiali e attrezzature	Rischi potenziali
Preparazione terre	Terra di fonderia (sabbia silicea + sostanze carboniose); resina fenolica (1-2% in peso), catalizzatore Caricamento dei miscelatori direttamente dai silii e dosatori; controllo dell'operazione di mescola (2 h)	Polverosità Vapori dalla resina (fenolo, formaldeide) e dal catalizzatore (acido p-toluensolfonico, toluene), soprattutto in caso di ricircolo di terre parzialmente calde
Formatura	Riempimento delle staffe con miscelatore mobile, pressatura manuale e livellamento; posizionamento staffe (5 h)	Polverosità Vapori dalla resina e dal catalizzatore Irritazione e allergizzazione da contatto
Animisteria	Riempimento delle anime con miscelatore fisso, pressatura manuale e livellamento (5 h)	Idem
Verniciatura	Grafite dispersa in metanolo Verniciatura per immersione, a spruzzo per i piccoli getti, a pennello per le rifiniture; flambatura (7 h)	Vapori di metanolo Prodotti gassosi di degradazione termica nella flambatura (ossido di carbonio, idrocarburi aromatici e alifatici)
Ramolaggio e montaggio staffe	Grafite dispersa in metanolo, mastice Finitura a pennello, pulizia delle forme con aria compressa, montaggio delle staffe (7 h)	Polverosità
Caricamento forno	Rottame di acciaio e di ghisa; ghisa; ferroleghie, scorificanti Caricamento con gru a magnete della carica ferrosa in skip e ribaltatore; aggiunte di ferroleghie e scorificanti con pale e secchi (1-1,5 h)	Rumore durante il trasferimento della carica Polverosità
Fusione e affinazione	La preparazione del bagno metallico è effettuata in forno elettrico a induzione da 5,5 t (la durata di tali fasi è subordinata al tipo di getti da preparare: il forno funziona 16 h) Uso di pirometro, tazza per provini, contenitori e raspa per scorifica	Sbalzi termici e temperatura radiante elevata durante le operazioni effettuate vicino al forno (scorifica, aggiunte ferroleghie, spillaggio in siviera, ecc.) Polverosità (ossidi metallici, scorificanti) Campi elettromagnetici
Colata	Polveri di copertura, magnesio (per ghisa sferoidale) Spillaggio del metallo fuso in siviera; trasferimento della siviera in vicinanza delle staffe; manovra della siviera e riempimento delle staffe; accensione dei gas emessi dalle forme e distribuzione delle polveri di copertura (mediamente tre serie di colate per circa 2-2,5 h)	Sbalzi termici e irraggiamento Polverosità (ossidi metallici, residui di combustione) Vapori dalla resina Prodotti gassosi di degradazione termica (ossido di carbonio, idrocarburi aromatici e alifatici)
Distaffatura	Vibratore pneumatico applicato alla staffa; mazza per il distacco dei canali di colata; motopala per la movimentazione delle terre (7 h) Trasferimento delle staffe, dopo raffreddamento (parziale o completo) con via a rulli o carrello	Polverosità Prodotti gassosi di degradazione termica Vapori dalla resina Sbalzi termici e irraggiamento Rumore dovuto al vibratore
Granigliatura	Graniglia di acciaio Caricamento con paranco della sabbiatrice a tunnel	Polverosità
Sbavatura	Mola pendolare; mole manuali, scalpelli pneumatici nel caso di getti di grosse dimensioni.	Polverosità (ossidi di ferro, terra residua, materiale abrasivo) Rumore e vibrazioni

Tabella II - Rilievi di microlima.

	Ora- rio	Posizione	T _s (°C)	U _r (%)	T _r (°C)	V (m/s)
Periodo invernale	16.11	Esterno	6,6	60		1,35
	16.13	Area anime	11,8	45		0,20
	16.09	Area colata	10,7	50		<0,05
	16.07	Area distaffatura	11,4	45		0,45
	16.05	Area granigliatura	11,7	45		<0,05
	16.03	Box sbavatura	11,6	45		<0,05
Periodo estivo	12.06	Esterno	27,8	80		1,30
	12.31	Area forno (a 2 m dal forno)	29,7	77	38,9	0,40
	12.51	Area forno (a 5 m dal forno)	28,3	81	30,9	0,30
	13.03	Area colata (a 15 m dal forno)	29,6	79	31,0	<0,05
	16.28	Area colata (a 15 m dal forno)	31,5	78	32,8	0,30

Osservazioni: T_s = temperatura dell'aria (bulbo secco), U_r = umidità relativa, T_r = temperatura radiante, V = velocità dell'aria.

riodo estivo (ancora Tabella II), fra le 12 e e 17 di una giornata di luglio (i parametri esterni hanno avuto le seguenti escursioni: temperatura dell'aria 27,8-31,1°C, umidità relativa 80%, velocità dell'aria 1,3-2,2 m/s) non sono riferibili alla precisa esposizione dei lavoratori nelle diverse postazioni, ma forniscono un'indicazione sulle condizioni di microclima (maggiormente gravose) nell'area di colata, cioè nella zona sottoposta alle principali fonti di calore radiante (forno, ghisa fusa, getti in raffreddamento). Alla posizione a 2 m dal forno sono assimilabili le condizioni di chi effettua il controllo e la manovra del forno; le posizioni a 5-15 m dal forno corrispondono alle condizioni di esposizione durante la colata. Si verifica come i meccanismi di irraggiamento interessino, nel caso di forno chiuso, un'area abbastanza limitata, mentre la temperatura dell'aria è influenzata dalla presenza di getti colati e in fase di raffreddamento. La registrazione nel tempo dei dati in area colata mostra come l'effetto del calore radiante si attenui 20 min dopo la colata, mentre progressivamente prendono importanza i meccanismi di convezione, innalzando la temperatura dell'aria.

Si configurano condizioni di stress da calore per gli addetti che intervengono nella fase di colata: il livello di rischio è legato sia ai tempi di permanenza in tale area, determinati dal numero di siviere da colare in successione, sia alla quota di getti in solidificazione presenti nell'area stessa.

Rumore

Le misure fonometriche effettuate nella fonderia in esame hanno individuato numerosi rumori di tipo discontinuo (miscelatori, distaffatore, granigliatrice, utensili per sbavatura, utensili ad aria compressa, ecc.) e particolari fasi di rumore impulsivo (caricamento del forno: fino a 120 dBA peak; martellatura forme nel corso della distaffatura: fino a 120 dBA peak; scalpellatura: 109 dBA peak; vanno considerate inoltre tutte quelle fasi che implicano martellature, cadute di materiali, ecc. tipiche dell'ambiente considerato). Inoltre occorre rilevare che la prevalenza degli addetti (in pratica si possono escludere gli sbavatori) non occupano, nel corso del turno, posizioni di lavoro fisse: si è ritenuto quindi di eseguire dosimetrie, riportate in Tabella III, per individuare i livelli di rischio nelle diverse aree in cui agiscono gli operatori.

È possibile confrontare i risultati ottenuti con quelli raccolti dal Subcommittee on Foundry Noise dell'inglese HSE nel 1978 (4) per due gruppi tipici di fonderie (a) altamente meccanizzate per produ-

zioni di massa; b) medie e grandi con ampia varietà di getti prodotti a mano o con mezzi semimeccanizzati) con distinzione per tipo di mansione. La fonderia in esame presenta livelli equivalenti per gli addetti che si collocano nelle fasce più basse rispetto alle fonderie considerate nel lavoro citato.

I livelli equivalenti misurati in posizioni fisse di centro ambiente (contemporaneamente alle misure personali) indicano l'effetto di interferenza dovuto a fonti adiacenti (i box di sbavatura sono affiancati).

Individuazione degli inquinanti chimici e metodologia di prelievo

Nel corso delle lavorazioni effettuate in fonderia si ha la copresenza di inquinanti particolati (ossidi metallici, silice, nero minerale, ecc.) e di prodotti gassosi risultanti: da vaporizzazione di sostanze chimiche utilizzate nelle fasi di mescola, formatura e verniciatura, da loro degradazione termica nella fase di flambatura e conseguente al contatto forma-metallo fuso durante la colata, oltreché rilasciati nelle successive fasi di raffreddamento e distaffatura.

Diversi autori (5-7) hanno identificato con esperienze condotte in laboratorio la natura dei gas e dei vapori che si formano dagli agglomeranti utilizzati nella terra di formatura, con riferimento alle diverse tecnologie produttive e alle successive fasi del ciclo. Questo aspetto qualitativo è estremamente importante: non è concepibile e neppure utile, in una situazione industriale, evidenziare e dosare tutti i componenti suscettibili di formarsi. Invece nella sperimentazione a piccola scala, dove le condizioni di laboratorio vengono adattate alle tecniche di analisi, è possibile mettere in evidenza i prodotti particolarmente pericolosi o quelli presenti in grande quantità e ricercare quindi degli «inquinanti guida» che siano rappresentativi del grado di inquinamento nella situazione reale. A sostegno di questa scelta si possono utilizzare le esperienze condotte nei reparti di produzione rivolte a individuare una correlazione fra i dati ottenuti in laboratorio e quelli riscontrati, con prelievi di breve e medio periodo, sul campo (6, 8-10). Si rileva che le concentrazioni dei costituenti predominanti, tipici delle varie fasi di lavorazione, sono sottoposte a maggiori oscillazioni rispetto ai costituenti rilevati a concentrazioni più basse. In genere si rilevano anche sostanze non tipiche della fase considerata: i sistemi di aerazione, oppure le correnti che si creano nell'ambiente, o una non adeguata separazione delle diverse aree di lavoro possono aggravare il carico delle

sostanze nocive.

Nel caso della fonderia in esame, per gli inquinanti particolati sono stati effettuati prelievi di medio-lungo periodo (30-180 min) adatti a rappresentare il livello di inquinamento con riferimento alle diverse condizioni del ciclo produttivo. Sono stati utilizzati prelevatori personali e fissi, i primi per ottenere informazioni sulla dose di particolati cumulata da ciascun addetto nelle diverse posizioni di lavoro assunte; i secondi per conoscere la concentrazione nelle diverse aree¹. I sistemi di prelievo indicati sono caratterizzati da velocità di impatto sulle membrane di 0,12-0,18 m/s: per il tipo di inquinanti particolati presenti, l'adozione di tali velocità consente di considerare il prelievo esente da errori apprezzabili dovuti alla sedimentazione per particelle aventi dimensioni fino a 5-8 μm (11).
Fra gli inquinanti chimici gassosi si è deciso di rilevare ossido di carbonio, fenolo e formaldeide. Per il primo inquinante si è utilizzato un sistema a lettura diretta²; fenolo e formaldeide sono stati prelevati per assorbimento con prelevatori fissi (per la formaldeide anche personali³), attivati per periodi da 25 a 220 min⁴. La scelta delle posizioni fisse di prelievo è difficile, soprattutto a causa di ragioni d'ingombro; inoltre le misure, nella maggior parte dei casi mediate nel tempo, non corrispondono alla reale situazione di esposizione degli operatori. Come criterio per valutare la continuità dell'inquinamento, si fa sempre riferimento alla durata del prelievo e la si confronta con la durata tipica delle singole operazioni: le concentrazioni rilevate per più di un'ora vengono ritenute rappresentative del valore medio in un turno giornaliero quando l'operatore mantenga un'unica postazione di lavoro; in caso di prelievi di durata inferiore, si considera tale esposizione significativa per la singola fase realizzata in una specifica postazione di lavoro.

Tabella III - Rilevazioni di rumore (dosimetrie).

Posizione o addetto	Durata della misura (h)	Livello equivalente (dBA)
Addetto formatura	8	73
Centro ambiente formatura	4	78,5
Addetto forno	8	89
Addetto distaffatura	8	88
Addetto granigliatura	8	86,8
Addetto sbavatura	8	93,8
Centro ambiente sbavatura	2	95,4

Osservazioni: Tempo di integrazione 100 μs , campo di misura del dosimetro 80-140 dBA, fattore di scambio $q = 3$.

Inquinanti chimici

Allo scopo di caratterizzare il tipo di terra

Tabella IV - Prima campagna di rilievi di inquinanti chimici (PP = prelevatore personale, CA = prelevatore fisso).

Rif. Fig. 2	Tipo	Durata (min)	Postazione Addetto	Fase del ciclo Osservazioni	Polvere totale (mg/m ³)	Fe (mg/m ³)	Nero miner. (mg/m ³)	SiO ₂ %
P1	PP	140	Animista		2,13	0,19	1,07	
P3	PP	120	Formatore	Anche operazioni di ramolaggio e preparazione colata (uso di aria compressa); segue la colata	4,80	0,18	2,02	
P3	PP	160	Formatore	Comprese operazioni di ramolaggio	7,53	0,28	4,52	
P4	PP	160	Addetto forno	Segue la colata	2,06*	0,17	1,21	
F3	CA	140	Area colata		1,07	0,06		
P5	PP	100	Addetto distaffatura	Complesse operazioni di distaffatura (anche operazioni di pulizia)	3,78**	0,36		
F4	CA	100	Area distaffatura	Idem	2,11	0,15		
P6	PP	70	Sbavatore	Sbavatura piccole fusioni; uso di mola; 25 min di pausa; uso di maschera	6,94***	1,64	<0,01	4
P6	PP	40	Sbavatore	Sbavatura basamenti macchine utensili, uso di scalpello; lavoro molto discontinuo (numerose e lunghe movimentazioni); uso di maschera	98,36	15,74	<0,01	4

Osservazioni: Produzione in ghisa lamellare. Inizio prelievi: ore 8.50; colaggio in staffe: ore 9.00-9.40; carica forno: ore 9.45-9.55; termine prelievi: ore 11.10-11.20.

Distribuzione granulometrica (%)

	> 15 μm	15-10	10-5	5-1	< 1 μm
* Addetto forno	0,84	0,84	13,45	27,73	57,14
** Addetto distaffatura	0,68	1,35	2,70	33,11	62,16
*** Sbavatore	1,90	1,27	2,53	50,00	44,30

Tabella V - Seconda campagna di rilievi di inquinanti chimici (PP = prelevatore personale, CA = prelevatore fisso, RC = rilevatore continuo).

Rif. Fig. 2	Tipo	Dur. (min)	Postazione Addetto	Fase del ciclo Osservazioni	Polvere tot. (mg/m ³)	Fe (mg/m ³)	Mg (mg/m ³)	CO (ppm)	Fenolo (mg/m ³)
F2	CA	110	Area riempimento staffe	30 min di riempimento staffe					0,11
P1	PP	90	Animista		2,78	0,11	0,15		
P3	PP	90	Addetto ramolaggio		4,02	0,19	0,75		
P4	PP	90	Addetto forno	Segue la colata	4,35	0,27	0,77		
P5	PP	90	Addetto distaffatura		3,17	0,11	0,23		
	RC		Davanti canale forno	Affinazione				20	
	RC		Platea anteriore forno	Idem				40	
	RC		Platea posteriore forno	Idem				30	
	RC		Presso fiamme preriscaldamento siviera	Idem				20	
F3	RC		Area colata	Idem				10	
	RC		Davanti al forno (presso operatori)	Colaggio siviera e aggiunta magnesio				30-60	
F3	RC		Area colata (presso oper.)	Colata nelle forme				100-250	
F3	RC		Area colata	Colata 2a siviera				250->500	
F3	RC		Area colata	Colata terminata				400	
F3	CA	100	Area colata	30 min di colata in staffe					0,12

Osservazioni: Produzione in ghisa sferoidale. Inizio prelievi: ore 10.00; affinazione: ore 10.40-10.50; colaggio in staffe: ore 11.00-11.20; termine prelievi: ore 11.30.

Tabella VI - Terza campagna di rilievi di inquinanti chimici (PP = prelevatore personale).

Rif. Fig. 2	Tipo	Durata (min)	Postazione Addetto	Fase del ciclo Osservazioni	Polvere totale (mg/m ³)	Fe (mg/m ³)	Mg (mg/m ³)	Nero miner. (mg/m ³)	SiO ₂ (%)
P1	PP	110	Animista		4,23	0,21	0,20		2,5
P2	PP	180	Addetto verniciatura		4,19	<0,01	0,21	3,14	2,5
P4	PP	110	Addetto forno	Segue la colata	3,97	0,25	0,21	2,34	2,5
P5	PP	180	Addetto distaffatura	Distaffatura colonna trapano verticale	5,70	0,40	0,23		2,5

Osservazioni: Produzione in ghisa sferoidale. Inizio prelievi: ore 10.15; affinazione: ore 11.35-11.50; colaggio in staffe: ore 11.50-12.10; termine prelievi: ore 12.10-13.15.

utilizzata nella fonderia esaminata è stato determinato il contenuto di silice libera cristallina in una serie di campioni prelevati dal deposito a terra nelle diverse aree. Si ha: sabbia nuova 85%, area formatura 70%, area forno 45%, terra all'uscita del recupero 52%. Si rileva un progressivo impoverimento in silice col procedere del ciclo, dovuto agli accumuli progressivi di grafite, di residui di combustione e soprattutto di ossidi metallici provenienti dal forno.

I risultati delle determinazioni di inquinanti particolati raccolti nelle Tabelle IV, V e VI sono stati distinti in base alle diverse campagne di prelievo, precisando le condizioni operative del ciclo, allo scopo di assumere il massimo di informazioni: l'analisi comparata di ri-

lievi effettuati contemporaneamente consente di individuare un meccanismo costante di dispersione dei particolati che dipende sia dalle modalità di emissione, sia dalle caratteristiche dell'ambiente considerato (assenza di aspirazioni localizzate, presenza di correnti d'aria); rilievi ripetuti nel tempo in una medesima posizione (oppure mediando fra tempo e spazio in relazione alla permanenza del lavoratore nelle varie zone) distinguono il livello di esposizione nelle singole aree (12).

Dove è possibile effettuare dei confronti (area colata, area distaffatura) i prelievi personali indicano concentrazioni di polvere più elevate rispetto a quelli fissi, in quanto i portamembrana si collocano più vicino alle emissioni: questi risultati

si osservano sempre nei casi in cui non siano installate aspirazioni localizzate (10).

Per meglio qualificare il rischio respiratorio per gli inquinanti particolati, sono stati effettuati conteggi granulometrici su alcuni campioni tipici (Tabella IV)⁵.

Con l'obiettivo di formulare un giudizio in merito al grado di esposizione degli addetti, si sono raggruppati i prelievi personali di polveri ripetuti nel corso delle diverse campagne di misura: si hanno tre campioni rispettivamente per gli addetti animisteria (P1), per gli addetti formatura (P3), per l'addetto forno (P4) e per l'addetto distaffatura (P5) (le aree di intervento sono indicate in figura 2). Sui diversi gruppi di dati, rappresentativi dell'esposizione determinata dalle differenti mansioni, è stato effettuato un test statistico per verificare l'accettabilità o meno delle condizioni ambientali, facendo riferimento allo standard di accettabilità per polveri totali con contenuto di silice libera cristallina del 3,5% (TLV - TWA ACGIH 1981) e ad un livello di fiducia del 95%⁶. Il criterio viene illustrato graficamente in figura 3 dove, risultando la distribuzione delle concentrazioni X_i , rilevate in n determinazioni ripetute, di un inquinante in un ambiente di lavoro di tipo lognormale, vengono utilizzati come valore centrale (in ordinate) e come indice di dispersione (in ascisse) rispettivamente la media e la deviazione standard dei logaritmi delle concentrazioni stesse, rapportate allo standard di accettabilità fissato per l'inquinante considerato. Le curve indicate rappresentano i confini delle aree di rispetto o viceversa di non rispetto dello standard di accettabilità, al variare (tra 3 e 25) del numero n di determinazioni: si noti come, al crescere di n , si restringa l'area di indecisione del test (in cui non è cioè possibile assicurare, con il prefissato livello di fiducia del 95%, che la concentrazione reale di inquinante sia sempre e comunque inferiore allo standard, ma neppure sostenere che sia sempre e comunque superiore).

In relazione al basso numero di campioni esaminati nel nostro caso ($n=3$), i punti rappresentativi dell'esposizione per i diversi addetti risultano in zona di indecisione. In particolare, nonostante il valore centrale delle concentrazioni misurate per i formatori sia superiore allo standard di accettabilità, con tre sole misure effettuate non ci si può ritenere sicuramente in zona di non accettabilità. Il risultato che emerge dall'approccio

statistico indica, per le diverse mansioni e con gravità diversa (maggiore per gli addetti formatura e distaffatura rispetto agli addetti forno e animisti), una situazione critica da affrontare con controlli e interventi impiantistici. In particolare l'esposizione a rischio è determinata dalla presenza di silice libera cristallina (da rilevare tale presenza anche in fase di sbavatura), mentre a carico degli ossidi metallici⁷ individuati (ferro, magnesio) non si evidenziano problemi derivanti da rischi specifici.

Allo scopo di determinare la natura e i meccanismi dell'inquinamento dovuto ai particolati si è effettuato un test di correlazione lineare prendendo in esame i dati ottenuti solo con i prelevatori personali (escludendo i dati riferiti agli addetti che operano nell'area di finitura, separata rispetto al capannone principale, figura 2). La correlazione è stata «testata» fra polverosità totale e i principali costituenti (ferro, magnesio, nero minerale). Si è verificata una indipendenza di tipo lineare per ferro (coefficiente di correlazione lineare $r = 0,43$) e magnesio ($r =$

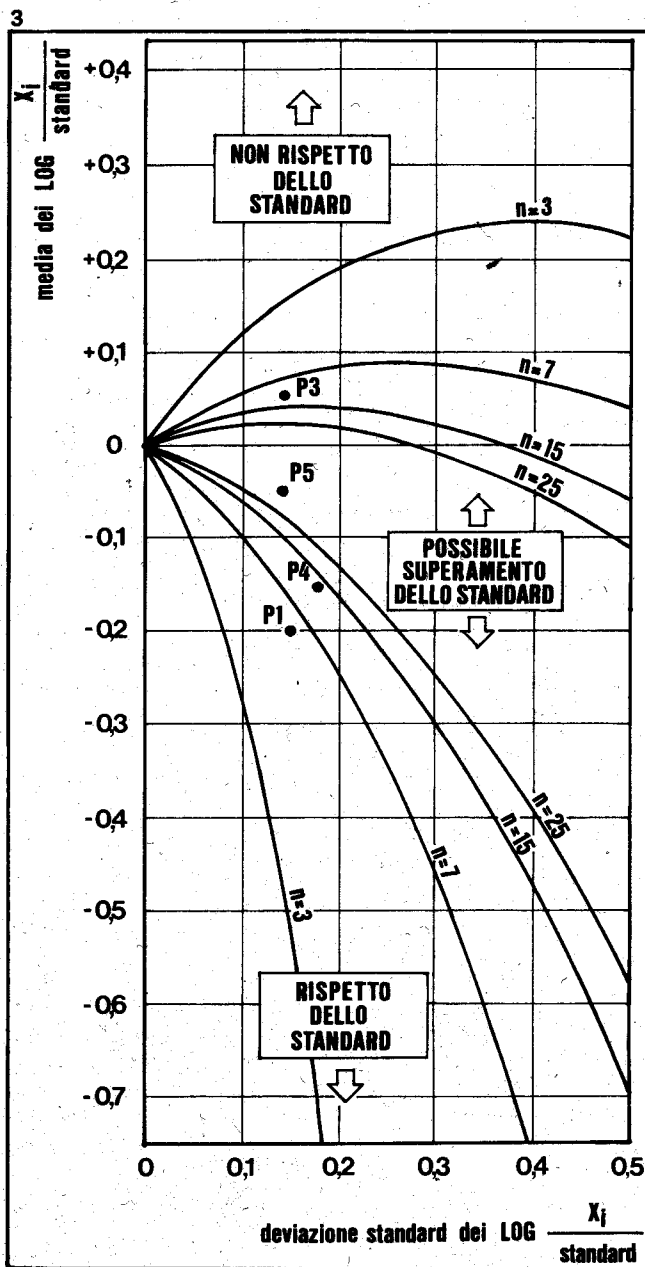


Fig. 3 - Carta per la valutazione statistica (a un livello di fiducia del 95%) di piccoli gruppi di misure casuali (in numero n da 3 a 25) in relazione al rispetto o meno dello standard di accettabilità fissato per un certo inquinante (X_i , essendo la concentrazione dell'inquinante rilevata nella determinazione i -esima tra le n). Applicazione ai risultati di 3 campionamenti personali di polveri per ciascuna delle seguenti mansioni: addetti animisteria (P1), addetti formatura (P3), addetto forno (P4), addetto distaffatura (P5) (le rispettive aree di intervento essendo indicate in Fig. 2). Lo standard di accettabilità per polveri totali con contenuto di silice libera cristallina del 3,5% (media dei valori rilevati) è fissato (TLV - TWA ACGIH 1981) in: $30 / (3,5+3) = 4,6 \text{ mg/m}^3$.

Tabella VII - Prima campagna di rilievi di formaldeide (CA = prelevatore fisso).

Rif. Fig. 2	Tipo	Orario	Posizione/Osservazioni	Formaldeide (mg/m ³)
F3	CA	9.50-10.55	Area colata: durante solidificazione getti e colata di due siviere	0,16
F3	CA	9.50-10.55	Idem	0,04
F1	CA	11.10-12.15	Area animisteria: fasi di riempimento non continue	0,03
F1	CA	11.10-12.15	Idem	<0,01

Osservazioni: Produzione in ghisa sferoidale. Inizio prelievi ore 9.50; getti in solidificazione nell'area di colata all'inizio dei prelievi; colaggio in staffe dalle 9.50 alle 10.10 (1a siviera) e dalle 10.25 alle 10.35 (2a siviera); riempimento delle forme nell'area di animisteria dalle 11.30 alle 12.00; termine dei prelievi alle 12.15. Temperatura 25 °C, umidità relativa 70% all'interno della fonderia.

Tabella VIII - Seconda campagna di rilievi di formaldeide (PP = prelevatore personale, CA = prelevatore fisso).

Rif. Fig. 2	Tipo	Orario	Posizione o addetto Osservazioni	Formaldeide (mg/m ³)
P1	PP	9.35-10.15	Addetto animisteria durante riempimento	1,52
P2	PP	10.00-11.00	Addetto verniciatura anime a spruzzo e a pennello	<0,01
P3	PP	14.40-16.10	Addetto formatura con macchina di riempimento; lavoro continuo	0,19
F2	CA	14.40-16.10	Area formatura	0,05
F3	CA	9.30-11.10	Area colata: durante solidificazione getti e colata di una siviera	0,05
F3	CA	9.30-11.10	Idem	<0,01
P4	PP	10.20-10.45	Addetto forno: manovra siviera durante colata	0,71
F3	CA	11.20-15.00	Area colata: durante solidificazione getti e colata di una staffa	<0,01

Osservazioni: Produzione in ghisa lamellare. Inizio prelievi ore 9.30; colaggio in staffe dalle 10.30 alle 10.40; colaggio di una staffa dalle 14.15 alle 14.20; le forme sono rimaste nell'area durante la solidificazione; riempimento delle staffe nell'area di formatura dalle 14.45 alle 16.05; termine dei prelievi alle 16.10. Temperatura 28,3-31,5 °C; umidità relativa 80% all'interno della fonderia.

Tabella IX - Quadro riassuntivo dei rischi valutati nell'ambiente di lavoro esaminato.

Fattore di rischio	Esposti	Caratteristiche dell'esposizione
Microclima invernale	26	Continua
Microclima estivo	6	Discontinua: durante la fase di colata
Rumore	9	Sorgenti prevalentemente discontinue e impulsive
Polveri silicotigene	26	Continua, in funzione delle fasi
Nero minerale	21	Inquinante diffuso in modo non preferenziale
Fenolo*	15	Possibile contaminazione degli indumenti e allergizzazione da contatto
Formaldeide*	17	Discontinua: durante le fasi di riempimento staffe e colata: possibile contaminazione degli indumenti e allergizzazione da contatto
Ossido di carbonio*	6	Discontinua: durante le fasi di colata

*Sostanze assunte come "inquinanti guida".

0,15), in quanto l'inquinamento è da attribuire a una sorgente specifica, identificabile con il forno di fusione. Si è ottenuta invece una buona correlazione lineare ($r = 0,93$) fra la polverosità totale e il contenuto di nero minerale, a indicazione della diffusione di quest'ultimo inquinante in modo omogeneo e non preferenziale in tutta l'area esaminata (il nero minerale costituisce una quota compresa fra il 42 e il 75% in peso⁸).

Le concentrazioni di fenolo rilevate con prelevatori fissi non raggiungono valori significativi (Tabella V): sia per l'area riempimento staffe, dove è presumibile un'emissione, che per l'area colata si ottengono valori di 0,11-0,12 mg/m³, in accordo con altri dati rilevati sul campo (6,7). I prelievi effettuati con stazione fissa indicano quindi la concentrazione di fondo, che si ottiene per effetto di diluizione dell'inquinante.

Anche per quanto riguarda la formaldeide si è verificata la difficoltà a rappresentare correttamente l'esposizione degli addetti, peraltro estremamente discontinua in base alle diverse mansioni svolte. Le concentrazioni riscontrate con prelevatori fissi (Tabella VII) si collocano ai livelli inferiori misurati da altri autori in fonderie che utilizzano resine fenoliche (2,7,9). Con una seconda campagna di misure (Tabella VIII) si è scelto di impiegare anche impinger personali, nonostante la limitata possibilità di ottenere prelievi con discreta qualità di sostanza e quindi le difficoltà in fase analitica, allo scopo di poter qualificare il diverso grado di esposizione nel corso di specifiche mansioni. Per l'addetto al riempimento anime, mansione manuale realizzata direttamente sopra le staffe, si ottiene 1,52 mg/m³; per l'addetto alla formatura che manovra la macchina di riempimento 0,19 mg/m³, cioè un valore molto più contenuto; infine per l'addetto forno, nella fase di manovra della siviera durante la colata, si ottiene 0,71 mg/m³. La presenza di formaldeide nell'atmosfera è quindi riscontrabile vicino ai punti di emissione (riempimento

staffe, colata) quando si abbia un riscaldamento della terra e prima che intervenga un consistente effetto di diluizione. Sia per il fenolo che per la formaldeide, nelle condizioni di lavoro manuale considerate, è da ritenere più intenso (anche se risulta difficile stimarlo in modo corretto) il rischio determinato dalla possibilità di contaminazione degli indumenti e di irritazione e allergizzazione cutanea per contatto, rispetto al rischio dovuto alla presenza di tali inquinanti nell'aria ambiente.

I tenori di ossido di carbonio (Tabella V), misurati in prossimità del forno e nell'area colata, risultano molto elevati nel corso della colata (e molto influenzati dalle correnti d'aria): tale prodotto di degradazione si rivela quindi il più pericoloso, come indicato in diversi lavori: si tratta infatti del gas emesso il cui volume

ratorio: il rischio determinato dai singoli inquinanti (gas e vapori, particolati) è considerato quindi singolarmente.

Indicazione delle priorità di intervento

Il criterio che viene proposto allo scopo di individuare le priorità di intervento per la bonifica ambientale tende a considerare in modo sintetico e comparato i diversi aspetti che sono emersi dalla

Tabella X - Classificazione degli interventi volti a ridurre i rischi evidenziati dall'indagine effettuata.

Classe di intervento	Area	Rischio	Esempio di intervento
Adeguamento di componenti impiantistici	Formatura Animisteria	Emissioni dalla resina	Nuovo silos per la terra di recupero che consenta l'utilizzo, in tutte le condizioni produttive, di terre completamente raffreddate
	Formatura Animisteria Ramolaggio Forno Colata Distaffatura	Rumore	Nuovo sistema di caricamento del forno, tale da ridurre i rumori impulsivi più elevati
	Distaffatura	Infortuni Fatica fisica	Distaffatore a griglia vibrante
	Sbavatura	Polvere Rumore	Rifacimento dei box con adozione di banchi girevoli e aspirati inseriti fra pareti fonoassorbenti
Specializzazione delle aree	Ramolaggio Colata Raffreddamento getti	Emissioni dalla resina Calore radiante	Specializzazione dell'area colata (l'area colata è l'unica a creare interferenze fra operazioni diverse: per il resto si ha un trasferimento lineare dei materiali attraverso le campate)
Adozione di aspirazioni localizzate	Forno Colata e raffreddamento Distaffatura	Polvere Emissioni dalla resina	
Adozione di mezzi protettivi personali	Animisteria Formatura	Emissioni dalla resina Contaminazione indumenti e allergizzazione da contatto Calore radiante	Mezzi protettivi maggiormente efficaci per gli addetti che manipolano le terre e per quelli che intervengono durante la colata
	Colata		

è massimo durante la colata (dati ottenuti in laboratorio) (2, 5-7) e che viene ritrovato a livelli elevati e non accettabili nel corso dei prelievi in zona colata (5-7,9) di fonderie utilizzanti resine fenoliche come leganti. La maggior parte dell'ossido di carbonio si sviluppa dalle forme durante i primi 60 min. In tutte le esperienze riferite da Bates et al. (8) i livelli più elevati si hanno entro i primi 10 min. Si configura quindi una situazione di rischio per gli addetti che effettuano la colata, in particolare quando sono costretti a permanere vicino ai getti in solidificazione dovendo colare siviere in successione. Alla luce delle indicazioni che emergono dall'esame dei singoli inquinanti, risulta estremamente complesso individuare un parametro che consenta una valutazione globale del rischio per l'apparato respi-

metodologia seguita in questa indagine:

- tossicità delle diverse sostanze utilizzate nel ciclo (come materie prime, come impurezze, come materiali di consumo) e fattori di rischio potenziali, individuati in base alla tecnologia adottata;
- numero degli esposti e caratteristiche dell'esposizione (continua, saltuaria, stagionale, ecc.);
- entità dell'esposizione, risultante dalle rilevazioni ambientali effettuate e dal raffronto di queste con analoghe situazioni di rischio.

In base a questi aspetti si può riassumere la situazione della fonderia esaminata come indicato in Tabella IX.

Gli interventi prioritari, volti a ridurre i rischi più gravi e/o più diffusi, possono essere raggruppati come indicato sinteticamente in Tabella X.

Con l'indagine ambientale descritta si è inteso mettere a punto, valorizzando le numerose conoscenze relative ai fattori di rischio nel settore fonderia, uno schema generalizzabile per la valutazione dell'entità dei diversi rischi e di conseguenza proporre un criterio per l'individuazione delle priorità con cui attuare modifiche agli impianti e all'organizzazione.

Una preliminare analisi del ciclo infatti consente di inquadrare le principali caratteristiche di esso precisando le tecnologie e i materiali utilizzati e permettendo un primo orientamento rispetto agli inquinanti guida da misurare.

L'esame dei dati ambientali, ottenuti con metodologia appropriata ed eventualmente trattati anche con approccio statistico, consente di definire l'accettabilità o meno delle condizioni ambientali stesse e quindi il livello di rischio.

¹La determinazione dei metalli è stata effettuata con spettrometro a plasma, dopo dissoluzione in acido nitrico concentrato dei filtri di raccolta; la determinazione della silice libera cristallina con analisi spettrofotometrica IR quantitativa; il nero minerale è stato valutato per differenza sul residuo insolubile, dopo dissoluzione della membrana. L'individuazione delle granulometrie è stata effettuata mediante lettura al microscopio ottico.

²Il principio di funzionamento è basato sull'ossidazione elettrochimica del CO a un elettrodo a potenziale controllato.

³Occorre precisare che la bassa quantità prelevata con impinger personale conferisce un valore indicativo alle concentrazioni riscontrate.

⁴La determinazione del fenolo è stata effettuata con il metodo della 4-aminoantipirina; quella della formaldeide con il metodo dell'acido cromotropico.

⁵Le particelle dei fumi emessi dai forni nel corso della fusione e affinazione dell'acciaio hanno dimensioni particolarmente ridotte: diverse individuazioni mostrano che il 50-55% di questi particolati sono inferiori ai 0,5 µm (5).

⁶Come è noto, la trattazione statistica dei dati è introdotta in considerazione della possibile non conformità tra situazione misurata e situazione reale, dato il necessariamente limitato numero dei campionamenti che si possono effettuare. In particolare, con il livello di fiducia si definisce l'accuratezza della stima della situazione reale, desunta dalle misure effettuate, che si sottopone a valutazione. Per una trattazione completa si rimanda alle voci (12, 13) della bibliografia.

⁷Tali ossidi risultano essere la totalità dei costituenti nel caso si considerino i fumi emessi dai forni di fusione e trattamento dell'acciaio (5); nella fonderia si ha invece un effetto di sovrapposizione di diverse emissioni (principalmente forno e distaffatura).

⁸Il tenore di ossido di ferro oscilla fra il 6 e il 14% in peso, per i prelievi considerati, cioè comprendendo anche quelli maggiormente distanti dal forno e dall'area colata; l'ossido di magnesio (individuato nel corso delle lavorazioni che ne prevedono l'utilizzo in siviera) è compreso fra il 7 e l'11%, con punte del 30% per gli addetti che seguono la colata.

(1) L. Bodini, B. Mazza, G. Nano, D. Sinigaglia, J. Alva: «Ciclo tecnologico e mappa dei rischi presunti nell'industria siderurgica e nella fonderia di ghisa e acciaio», Atti 40° Congresso Nazionale Società Italiana di Medicina del Lavoro e Igiene Industriale, Milano, Ottobre 1977, Vol. 1, pag. 5.

(2) G. Censi: «I leganti chimici: sicurezza ed ambiente», La Fonderia Italiana 29, n. 4 (1980), pag. 111.

(3) J.E. Holt, R.J. Sherwood: «How can we get better thermal conditions?», The Working Environment in Ironfoundries, BCIRA, Birmingham (1977), pag. 22-1.

(4) Health and Safety Executive: «Noise in foundry», First Report of the Subcommittee on Foundry Noise, HMSO, London (1978).

(5) C.E. Bates, L.D. Scheel: «Processing emissions and occupational health in the ferrous foundry industry», American Industrial Hygiene Association Journal, 35, n. 8 (1974), pag. 452.

(6) R.H. Toeniskoetter, R.J. Schafer: «Industrial hygiene aspects of the use of sand binders and additives», The Working Environment in Ironfoundries, BCIRA, Birmingham (1977) pag. 19-1.

(7) J. Muller, B. Hervé-Bazin, P. Ferrari, A. Pflieger: «Salubrité dans les ateliers de fonderie - Nuisances d'ordre chimique», Cahiers de Notes Documentaires n. 96, 3e trimestre 1979, pag. 415.

(8) C.E. Bates, W.D. Scott, R.H. James: «Point-source emissions from foundry moulds», The Working Environment in Ironfoundries, BCIRA, Birmingham (1977), pag. 20-1.

(9) A. Schuetz, D. Wolf: «Gas e vapori nell'ambiente di fonderia», La Fonderia Italiana 29, n. 6 (1980), pag. 163.

(10) G. Gerhardsson: «Technical measures against silicosis in Sweden with special reference to foundries», Atti Meeting per le fonderie - La sabbia di olivina norvegese HD: minerologia e aspetti igienico-sanitari, Pavia, Marzo 1975.

(11) A. Borroni, G.A. Gino, B. Mazza, G. Nano: «Velocità ottimale di prelievo degli inquinanti particolati», AES Rivista dell'Antiquamento 4, n. 10 (1982), pag. 56.

(12) A. Borroni, G.A. Gino, B. Mazza, G. Nano: «A statistical evaluation of the pollution level in work environments», La Medicina del Lavoro 73, n. 4 (1982), pag. 412.

(13) N.A. Leidel, K.A. Busch, J.R. Lynch: «Occupational Exposure Sampling Strategy Manual», NIOSH, Cincinnati (1977), pag. 47.