



IT9700552



**ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'**

---

## **Variabilità dell'esposizione a benzene tra gli addetti all'erogazione di carburanti**

A. Carere, S. Fuselli, N. Iacovella, I. Iavarone,  
S. Lagorio, A. R. Proietto e L. Turrio Baldassarri

---

ISSN 1123-3117

**Rapporti ISTISAN**

**96/37**

---

**ISTITUTO SUPERIORE DI SANITA'**

**Variabilità dell'esposizione a benzene  
tra gli addetti all'erogazione di carburanti**

Angelo Carere (a), Sergio Fuselli (b), Nicola Iacovella (a), Ivano Iavarone (b),  
Susanna Lagorio (b), Anna Rita Proietto (b) e Luigi Turrio Baldassarri (a)

*(a) Laboratorio di Tossicologia Comparata ed Ecotossicologia  
(b) Laboratorio di Igiene Ambientale*

ISSN 1123-3117

**Rapporti ISTISAN**

**96/37**

Istituto Superiore di Sanità

**Variabilità dell'esposizione a benzene tra gli addetti all'erogazione di carburanti.**

Angelo Carere, Sergio Fuselli, Nicola Iacovella, Ivano Iavarone, Susanna Lagorio, Anna Rita Proietto e Luigi Turrio Baldassarri  
1996, 22 p. Rapporti ISTISAN 96/37

Allo scopo di studiare la variabilità dell'esposizione a vapori di benzina tra i benzinai e di identificarne le sorgenti, è stata condotta un'indagine di monitoraggio dell'esposizione a benzene e ad altri aromatici, basata su quattro campionamenti ripetuti per addetto. Durante ciascuna giornata di monitoraggio venivano raccolti campioni di aria in zona respiratoria dell'addetto, di aria atmosferica in prossimità della stazione di servizio e di carburante. Venivano, inoltre, registrate le quantità di carburante erogato e la frequenza di eventi potenzialmente in grado di influire sull'intensità dell'esposizione degli addetti alle stazioni di servizio. La variabilità totale delle misure di esposizione personale a benzene dipendeva soprattutto dalla variabilità giornaliera intra-individuale, con un contributo modesto delle differenze tra soggetti. Tale elevata variabilità giornaliera comporta un'imprecisione nella stima dei livelli medi individuali di esposizione. Il 70% della variabilità osservata nei livelli personali di esposizione a benzene veniva spiegato da un modello di regressione multipla che comprendeva la quantità di benzene presente nel carburante erogato durante il campionamento, la presenza di pensilina sull'area di rifornimento, la quantità di carburante mobilizzata durante rifornimenti da autocisterna e la concentrazione atmosferica di benzene in prossimità della stazione.

*Parole chiave:* Benzinai, Valutazione dell'esposizione

Istituto Superiore di Sanità

**Variability of benzene exposure among filling station attendants.**

Angelo Carere, Sergio Fuselli, Nicola Iacovella, Ivano Iavarone, Susanna Lagorio, Anna Rita Proietto and Luigi Turrio Baldassarri  
1996, 22 p. Rapporti ISTISAN 96/37 (in Italian)

A monitoring survey of filling station attendants aimed at identifying sources of variability of exposure to benzene and other aromatics was carried out. Concurrent samples of the worker's breathing zone air, atmospheric air in the service station proximity, and gasoline were collected, along with information about daily workloads and other exposure-related factors. Benzene personal exposure was characterised by a small between-worker variability and a predominant within-worker variance component. Such elevated day-to-day variability yields to imprecise estimates of mean personal exposures. Almost 70% of the overall personal exposure variance was explained by a model including daily benzene from dispensed fuel, presence of a shelter over the refueling area, amount of fuel supplied to the station if a delivery occurred, and background atmospheric benzene concentration.

*Key words:* Exposure assessment, Service station workers

Lo studio è stato parzialmente finanziato dalla Comunità Europea (contratto ISS/EU EV5V-CT92-0221).

## **Indice**

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	1
<b>2. METODI</b> .....	3
<b>2.1. Popolazione in studio</b> .....	3
<b>2.2. Strategia di monitoraggio</b> .....	3
<b>2.3. Tecniche di campionamento</b> .....	4
<b>2.4. Determinazioni chimiche</b> .....	5
<b>2.5. Analisi statistica</b> .....	6
<b>3. RISULTATI</b> .....	7
<b>4. DISCUSSIONE</b> .....	17
<b>Bibliografia</b> .....	21

## 1. INTRODUZIONE

L'esposizione a vapori di benzina è estremamente diffusa nelle aree ad alta intensità di traffico veicolare. L'impatto sanitario di tale esposizione desta preoccupazione, soprattutto a causa della cancerogenicità di alcuni componenti chimici quali il benzene (IARC, 1989; Infante *et al.*, 1990). L'esposizione professionale si verifica nelle raffinerie, nelle attività di trasporto e distribuzione dei carburanti e nelle stazioni di rifornimento.

Negli USA è stata rilevata un'ampia variabilità nei livelli di esposizione degli addetti alla distribuzione di carburanti in funzione delle caratteristiche della sorgente di vapori e degli ambienti di lavoro, del tipo e della frequenza di operazioni svolte, delle pratiche di lavoro individuali, e della disponibilità di misure di controllo dell'esposizione (Smith *et al.*, 1993). Ci si può attendere che gli addetti alle stazioni di servizio sperimentino profili di esposizione altrettanto eterogenei, a causa di differenze nel tipo di impianto (stazioni con rifornimento effettuato dagli addetti ovvero self-service) e nella proporzione di tempo dedicata alle diverse operazioni (erogazione di carburante, attività di manutenzione, riparazioni meccaniche, etc.). Inoltre, le attività lavorative di tipo intermittente e all'aperto comportano tipicamente un'elevata variabilità giornaliera nei livelli di esposizione (Kromhout *et al.*, 1993).

L'ampiezza dell'intervallo delle concentrazioni di benzene in zona respiratoria misurate tra i benzinai in diverse parti del mondo, e pubblicate negli ultimi anni su riviste scientifiche, non sembra interamente attribuibile a differenze nella concentrazione di benzene nel carburante (Tabella 1). La maggior parte degli studi esaminati non prestano alcuna attenzione alle potenziali sorgenti di variabilità nei livelli di esposizione (Machefer *et al.*, 1990; Foo, 1991; Das *et al.*, 1991; Hartle, 1993; Sperduto, 1993; Castellino *et al.*, 1996).

**Tabella 1.** - Rassegna delle indagini sui livelli di esposizione a benzene tra gli addetti all'erogazione di carburante, pubblicate nel 1990-94.

Paese (Autore, anno)	Oss	Esposizione a benzene (medie gruppo, mg/m <sup>3</sup> )	SRV <sup>†</sup>	Benzene nel carburante (% v/v) <sup>§</sup>
Francia (Machefer, 1990)	62	2.59	?	1.5 - 1.8 <sup>§</sup>
Singapore (Foo, 1991)	54	0.64	?	1.8 - 3.7 <sup>§</sup>
India (Das, 1991)	40	4.65	?	0.5 - 3.5
USA (Hartle, 1993)	28	0.10	no	0.4 - 0.9 <sup>§</sup>
	39	0.16	no	1.2 - 1.6 <sup>§</sup>
	30	0.20	si	1.8 - 2.0 <sup>§</sup>
Svezia (Nordlinder, 1992)	30	0.13	si	≤5
	175	0.76	no	≤5
Italia (Miscetti, 1993)	22	0.80	no	≈2
Italia (Sperduto, 1993)	639	0.48	no	≈2
Italia (Lagorio, 1993)	703	0.55	no	≈3
Italia (Lagorio, 1994)	27	1.73	no	2.8
Italia (Castellino, 1996)	300	0.16 <sup>*</sup>	no	?

Oss = N° di osservazioni; †SRV = disponibilità di sistemi recupero vapori sugli erogatori; \*media geometrica; §in funzione della composizione del carburante.

E' stato, d'altra parte, osservato che l'esposizione personale a benzene è correlata con la quantità di carburante venduto (Miscetti *et al.*, 1993; Lagorio *et al.*, 1993), e che la quantità totale di benzene contenuto nella benzina erogata durante il campionamento personale è in grado di predire l'intensità di esposizione personale in modo ancora più accurato (Lagorio *et al.*, 1994). E' stata, inoltre, documentata un'efficiente riduzione nell'intensità di esposizione a benzene da parte dei dispositivi di recupero vapori montati sull'erogatore (Nordlinder *et al.*, 1992).

Riportiamo qui i risultati di un'indagine di monitoraggio dell'esposizione in un campione di 12 benzinai, basata su quattro campionamenti ripetuti per soggetto nel corso di un anno e finalizzata a valutare la relazione tra l'intensità di esposizione a benzene e diversi potenziali determinanti, incluse le pratiche di lavoro individuali e il livello di fondo del benzene come inquinante atmosferico.

## **2. METODI**

### **2.1. Popolazione in studio**

Nel corso del 1992 era stata realizzata un'indagine di monitoraggio dell'esposizione a benzene tra i gestori di un campione casuale di stazioni di rifornimento localizzate nel centro e nel settore nord-est di Roma (Lagorio *et al.*, 1993). Nel 1994 quindici degli originali centoundici benzinai, scelti questa volta sulla base di considerazioni logistiche, sono stati invitati a partecipare ad un nuovo studio e dodici hanno accettato.

### **2.2. Strategia di monitoraggio**

Diverse informazioni sulle caratteristiche dei lavoratori (data di nascita, anzianità lavorativa, abitudini al fumo) e delle stazioni di servizio (struttura dell'impianto, numero di addetti, vendite annuali di carburante) sono state raccolte mediante questionario all'inizio dello studio.

Ciascun addetto è stato monitorato quattro volte, ad intervalli di 2 o 3 mesi, tra luglio 1994 e aprile 1995. Durante ciascuna giornata di monitoraggio sono stati raccolti campioni personali di aria in zona respiratoria, di aria atmosferica in prossimità della

stazione di servizio, e campioni di benzina con piombo e senza piombo (50 ml). I campionamenti hanno avuto una durata media di 267 minuti (DS 79).

E' stata adottata una strategia di monitoraggio controllato, con un tecnico incaricato di supervisionare il campionamento e registrare una serie di fattori rilevanti, quali temperatura atmosferica, velocità del vento, numero di veicoli riforniti, quantità di carburante erogato, eventi potenzialmente in grado di modificare l'intensità di esposizione (es. vicinanza del benzinaiolo al serbatoio del veicolo, fuoriuscita di vapori all'apertura del serbatoio, tracimazione di carburante durante il rifornimento, schizzi di benzina sulla tuta), e quantità di carburante acquistata dal gestore nel caso in cui si verificava un rifornimento da autocisterna. In questa circostanza, inoltre, veniva annotato se il benzinaiolo prestava assistenza al conducente dell'autocisterna durante il rifornimento e se venivano attivati i sistemi di ricircolo vapori eventualmente presenti a livello delle cisterne di stoccaggio.

### **2.3. Tecniche di campionamento**

Sia i campionamenti di aria in zona respiratoria dell'addetto, sia quelli di aria atmosferica in prossimità della stazione di servizio, sono stati realizzati mediante fiale di carbone attivo montate su pompe aspiranti (ALPHA 2 air sampler Du Pont<sup>1</sup>) con flusso tarato a 200 ml/min. Il campionatore utilizzato per il monitoraggio delle concentrazioni atmosferiche di benzene ed altri aromatici, veniva posizionato a circa 70 metri di distanza dalla stazione di servizio, sopravento, ad un'altezza di 160 cm da terra. Durante la prima serie di misure (luglio 1994) è stato utilizzato in parallelo anche un campionatore passivo (3M Organic Vapour Monitor, modello 3500<sup>1</sup>) le cui velocità di campionamento per benzene, toluene, xileni ed etilbenzene sono di  $35.5 \pm 0.6$ ,  $31.4 \pm 0.6$ ,  $27.3 \pm 0.5$  e  $27.3$

---

<sup>1</sup>La menzione di specifici marchi e strumenti commerciali è esclusivamente a scopo di documentazione scientifica e non implica alcun giudizio di qualità da parte dell'Istituto Superiore di Sanità.



cm<sup>3</sup>/min, rispettivamente. La capacità adsorbente della membrana di carbone attivo di tale campionatore è 13 mg per il benzene, 25 mg per il toluene, e >25 mg per xileni ed etilbenzene. Le fiale ed il disco contenenti carbone attivo venivano fissate al collo del cappello dell'abito da lavoro.

#### 2.4. Determinazioni chimiche

Le concentrazioni di benzene, toluene, xileni (*o*-, *m*-, *p*-isomeri) ed etilbenzene presenti in ciascuna serie di campioni (aria in zona respiratoria dell'addetto, aria atmosferica e carburante) sono state determinate mediante gascromatografia capillare con rivelatore a ionizzazione di fiamma (GC/FID).

Le analisi sono state condotte secondo il metodo suggerito dal NIOSH (NIOSH, 1977), leggermente modificato dall'utilizzo di una soluzione di clorobenzene in CS<sub>2</sub> (10 ng/ml) nella preparazione delle soluzioni standard e nel desorbimento dei campioni dal carbone attivo. L'uso del clorobenzene quale standard d'iniezione ha permesso di ridurre notevolmente la variabilità di determinazioni replicate.

Ciascun campione è stato iniettato in duplicato e la variazione delle misure era inferiore al 3%.

In ogni sessione di analisi veniva impiegata una serie di tre soluzioni standard e la determinazione chimica in ciascun campione è stata effettuata in riferimento allo standard con le concentrazioni dei diversi analiti più simili a quelle misurate nel campione, con differenze inferiori al 20% nelle aree dei picchi relativi a ciascun determinando nel campione e nello standard. I rapporti tra i sei analiti nelle miscele standard erano simili a quelli osservati nei campioni.

Le concentrazioni misurate sono state espresse come medie ponderate sul tempo di campionamento (time weighted average, TWA) in µg/m<sup>3</sup>.

## 2.5. Analisi statistica

Le concentrazioni di benzene e degli altri idrocarburi aromatici misurati presentavano un'asimmetria positiva e sono state dunque trasformate in logaritmi naturali per normalizzarne la distribuzione e stabilizzarne la varianza.

Per le stesse ragioni tutte le variabili relative a comportamenti o eventi potenzialmente in grado di modificare l'intensità di esposizione, registrate come proporzioni, sono state trasformate in arcoseno.

Le medie aritmetica e geometrica delle serie di 48 misure di esposizione personale a benzene, toluene, xileni ed etilbenzene, e le loro rispettive deviazioni standard, sono state utilizzate per descrivere il profilo di esposizione dei benzinai come gruppo.

D'altra parte, al fine di valutare se l'esposizione media di gruppo fosse una valida stima dell'intensità di esposizione media individuale, è stata condotta un'analisi della varianza ad una via (one-way ANOVA), con il codice individuale (dodici livelli) come fattore principale. Tale analisi ha permesso di stimare in modo diretto la componente "intra-individuale" della varianza totale ( $w\sigma^2$ ) ( $wS^2 = wSS/n(k-1)$ ), mentre la componente "inter-individuale" ( $B\sigma^2$ ) è stata calcolata in base all'equazione seguente:  $B S^2 = \{[BSS/(n-1)] - [wSS/n(k-1)]\} / n$ , dove  $[wSS/n(k-1)]$  e  $[BSS/(n-1)]$  corrispondono alle varianze tra soggetti ed entro soggetti ottenute con l'applicazione del modello ANOVA,  $n$  = numero di lavoratori, e  $k$  = numero di misure ripetute per lavoratore (Boleij *et al.* 1995). Inoltre, come misura del grado di omogeneità dell'esposizione nel gruppo di benzinai in esame, viene fornita la stima del rapporto tra il 97.5° e il 2.5° percentile della distribuzione log-normale delle esposizioni medie individuali, calcolata come suggerito da Rappaport (1991) in base alla formula:  $B R_{0.95} = \exp(3.92 \sqrt{B S^2})$ .

L'entità della distorsione (bias) nella stima di un coefficiente di regressione ( $1-b/\beta$ ), ottenuto studiando la relazione tra una variabile quantitativa di effetto e un indice di esposizione misurato in modo inaccurato, dipende sia dal rapporto tra le componenti

intra- ed inter-individuale della varianza totale ( $\lambda = wS^2/B^2$ ), sia dal numero di misure ripetute per soggetto ( $k$ ) (Liu *et al.*, 1978):  $b/\beta = k (\lambda+k)^{-1}$ . Questa formula assume un modello di rischio additivo ed una relazione dose-risposta di tipo lineare.

Risolvendo l'equazione per  $k$ , si ottiene il numero di misure ripetute per soggetto necessario a minimizzare la misclassificazione dell'esposizione ed il conseguente bias nel coefficiente di regressione tra esposizione ed effetto.

La presenza di un andamento temporale nella composizione chimica dei carburanti durante il periodo di studio è stata valutata mediante analisi di regressione lineare semplice, utilizzando come variabile indipendente la serie di campionamento.

L'effetto di variabili potenzialmente predittive dell'intensità di esposizione personale a benzene è stato analizzato mediante analisi di regressione lineare semplici e multiple.

Per l'analisi statistica è stato utilizzato il software statistico SPSS/Window (Norušis, 1994).

### 3. RISULTATI

Le principali caratteristiche dei 12 benzinai inclusi nell'indagine sono riportate nella tabella 2. Le stazioni di rifornimento in studio erano tipici impianti urbani di piccole dimensioni, privi di servizi di riparazione o di autolavaggio e caratterizzati da frequenti rifornimenti di piccole quantità di carburante (>2 per settimana). Infatti, anche nel piccolo campione di stazioni in esame, poteva essere evidenziata una correlazione negativa tra frequenza delle consegne di carburante alla stazione e quantità di benzina acquistata di volta in volta (coefficiente di correlazione di Spearman = -0.56;  $p$  (due code) = 0.06). Due stazioni erano fornite di pensilina sull'area di rifornimento. Nessun impianto era dotato di sistemi per il ricircolo di vapori sulle pistole erogatrici. La posizione ravvicinata al serbatoio dell'autoveicolo durante il rifornimento era molto

frequente (76%-100%), e tale posizione veniva mantenuta in media per la metà della durata dell'erogazione. La fuoriuscita di vapori all'apertura dei serbatoi si verificava nel 10% dei rifornimenti, mentre la perdita di gocce di carburante dalla pistola ovvero la trascinazione di benzina dal serbatoio erano eventi più frequenti (48% in media). In otto dei 48 giorni totali di campionamento si sono verificate consegne di carburante alla stazione.

**Tabella 2.- Caratteristiche dei benzinai e delle stazioni di servizio in studio (Roma, 1994-95).**

<b>Variabile</b>	<b>Oss</b>	<b>Media</b>	<b>DS</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>MG</b>	<b>DSG</b>
<b>Benzinai</b>							
Età (anni)	12	44.5	12.0	30	62	43.0	1.3
Anzianità lavorativa (anni)	12	24.1	13.6	7	43	19.7	2.0
<b>Stazioni di servizio</b>							
Addetti, full-time equivalenti (#)	12	1.4	0.5	1	2.5	1.3	1.4
Benzina erogata/addetto/anno (1000 l)	10	529.4	173.1	352	880	507.8	1.4
Rifornimenti da autocisterna/mese (#)	12	10.0	3.3	6	15	9.6	1.4
Carburante da autocisterna/rifornimento (1000 l)	12	7.3	4.0	4	18	6.6	1.6
<b>Indici di carico di lavoro</b>							
Veicoli riforniti/ora (#)	48	14.5	6.9	2	34	12.8	1.7
Carburante erogato/ora (l)	48	171.7	77.7	37	424	154.5	1.6
<b>Potenziali determinanti dell'esposizione</b>							
Carburante erogato in prossimità serbatoio (%)	48	87%	12%	48%	100%	-	-
Rifornimenti in prossimità del serbatoio (%)	48	93%	6%	76%	100%	-	-
Rifornimenti con fuoriuscita vapori (%)	48	10%	6%	0%	21%	-	-
Rifornimenti con trascinazione carburante (%)	48	48%	12%	27%	81%	-	-
Rifornimenti con schizzi carburante su tuta (%)	48	1%	2%	0%	8%	-	-
Rifornimenti con controlli al motore (%)	48	4%	4%	0%	12%	-	-
Benzina consegnata da autocisterna (1000 l)	8	8.0	4.8	3	18	6.9	1.8

Oss = N° di osservazioni; Media = media aritmetica; DS = deviazione standard dalla media aritmetica; Min = minimo; Max = massimo; MG = media geometrica; DSG = deviazione standard dalla media geometrica.

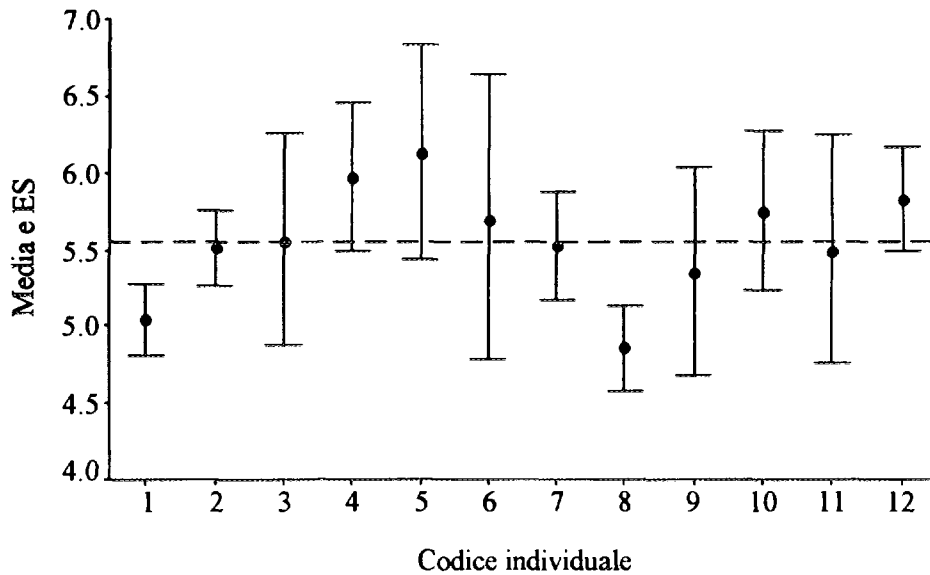
La tabella 3 descrive la distribuzione dei livelli di esposizione personale a benzene e ad altri idrocarburi aromatici (TWA) misurati mediante pompa aspirante (48 osservazioni) e dosimetro passivo (12 campioni).

**Tabella 3.** - *Distribuzione dei valori di esposizione personale a benzene e ad altri idrocarburi aromatici (aria in zona respiratoria; TWA,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) misurati tra gli addetti all'erogazione di carburanti (Roma, 1994-95).*

Variabile	Oss	Media	DS	Min	Max	MG	DSG
<b>Campionatore attivo</b>							
Benzene	48	315.62	210.28	94	959	262.43	1.82
Toluene	48	565.23	311.74	181	1638	497.70	1.65
Xileni	48	339.02	172.87	115	1099	304.90	1.55
Etilbenzene	48	71.38	41.71	26	244	62.18	1.67
<b>Campionatore passivo</b>							
Benzene	12	449.17	239.45	221	980	399.41	1.63
Toluene	12	813.00	387.68	399	1693	742.48	1.54
Xileni	12	637.67	198.35	455	1130	614.00	1.31
Etilbenzene	12	98.75	39.83	58	194	92.76	1.43

Oss = N° di osservazioni; Media = media aritmetica; DS = deviazione standard dalla media aritmetica; Min = minimo; Max = massimo; MG = media geometrica; DSG = deviazione standard dalla media geometrica.

L'esposizione personale a benzene mostrava un modesto grado di disomogeneità tra lavoratori (Figura 1), con un valore di rapporto percentile ( ${}_B R_{0.95}$ ) pari a 2.47.



**Figura 1.-** Esposizione a benzene tra i benzinai (In  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ): medie individuali ed errori standard delle medie (4 misure per soggetto, Roma 1994-95).

D'altra parte, l'intensità dell'esposizione individuale era caratterizzata da una notevole variabilità giornaliera (Tabella 4), come suggerito dall'elevato valore del rapporto tra la varianza "intra-individuale" e la varianza "inter-individuale" ( $\lambda = 5.96$ ). Di conseguenza, è stato calcolato che per ridurre il bias atteso nella stima di un'ipotetica relazione dose-risposta dall'attuale 60% stimato per il benzene ad un più accettabile 10%, sarebbero state necessarie 54 misure ripetute per soggetto.

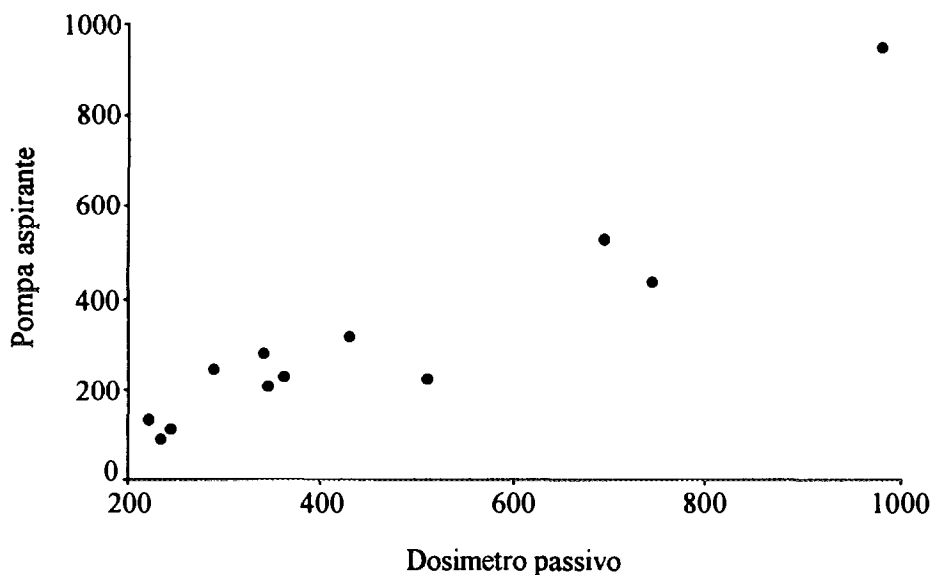
Le concentrazioni di benzene misurate nei campioni di aria in zona respiratoria raccolti simultaneamente mediante pompa personale e dosimetro passivo risultavano altamente correlate ( $r = 0.94$ ,  $p < 0.001$ ) (Figura 2).

Le concentrazioni atmosferiche di benzene in prossimità della stazione erano inferiori di un ordine di grandezza ai livelli di esposizione personale misurati contemporaneamente (Tabella 5) e si osservava una correlazione lineare tra le due serie di misure ( $r = 0.39$ ,  $p < 0.01$ ) (Figura 3).

**Tabella 4.-** *Analisi delle componenti della varianza delle misure di esposizione personale a benzene e ad altri idrocarburi aromatici e stima delle conseguenze della misclassificazione dei livelli medi individuali di esposizione (12 benzinai, Roma 1994-95).*

Variabile	k	N	$bR_{0.95}$	wDSG	bDSG	$\lambda$	$1-(b/\beta)$	E (k)
Benzene	4	48	2.466	1.754	1.259	5.962	0.60	54
Toluene	4	48	2.339	1.571	1.242	4.340	0.52	39
Xileni	4	48	1.509	1.541	1.111	17.000	0.81	153
Etilbenzene	4	48	1.783	1.632	1.159	11.034	0.73	99

k = numero di misure ripetute per soggetto; N = numero totale di misure eseguite;  $bR_{0.95}$  = rapporto tra il 97.5° e il 2.5° percentile della distribuzione log-normale dei valori medi individuali di esposizione; wDSG = deviazione standard geometrica della distribuzione intra-individuale dei livelli di esposizione (i.e. differenze nei livelli giornalieri di esposizione); bDSG = deviazione standard geometrica della distribuzione inter-individuale dei livelli di esposizione (i.e. differenze nell'esposizione media tra soggetti);  $\lambda$  = rapporto di varianza tra le componenti intra ed inter-individuale;  $1-(b/\beta)$  = valore atteso del bias in un ipotetico coefficiente di regressione misurabile in un'analisi di regressione tra una variabile dipendente continua (indicatore di effetto) ed una variabile di esposizione misurata in modo inaccurato; E (k) = numero di misure ripetute per soggetto richieste per ridurre il valore atteso del bias nel coefficiente di regressione ad un valore massimo del 10% ( $b/\beta=0.90$ ), dato il valore osservato di  $\lambda$ .

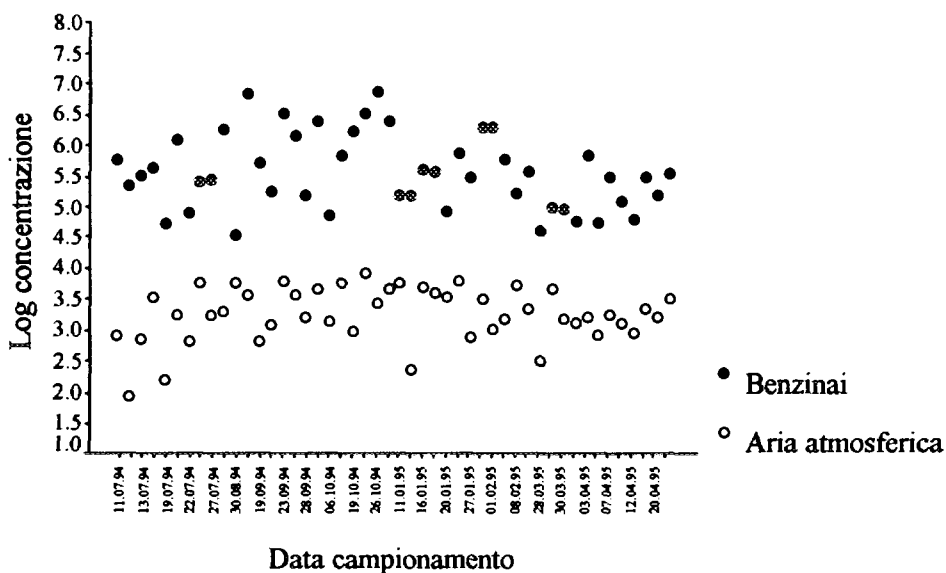


**Figura 2.-** *Relazione tra le concentrazioni di benzene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) misurate nei campioni di aria in zona respiratoria raccolti mediante pompa aspirante e dosimetro passivo (12 coppie di misure, Luglio 1994).*

**Tabella 5.-** Concentrazioni atmosferiche di benzene ed altri idrocarburi aromatici (TWA,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) rilevate in prossimità della stazione di servizio (Roma, 1994-95).

Variabile	Oss	Media	DS	Min	Max	MG	DSG
Benzene	48	28.64	10.80	7.10	51.50	26.31	1.55
Toluene	48	93.46	35.52	23.50	165.20	85.63	1.57
Xileni	48	106.48	42.70	30.40	184.00	97.51	1.57
Etilbenzene	48	21.92	9.09	5.20	36.70	19.69	1.65

Oss = N° di osservazioni; Media = media aritmetica; DS = deviazione standard dalla media aritmetica; Min = minimo; Max = massimo; MG = media geometrica; DSG = deviazione standard dalla media geometrica.



**Figura 3.-** Esposizione a benzene dei benzinai e concentrazione atmosferica di benzene in prossimità della stazione (In  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) per giornata di campionamento (48 coppie di misure, Roma 1994-95).



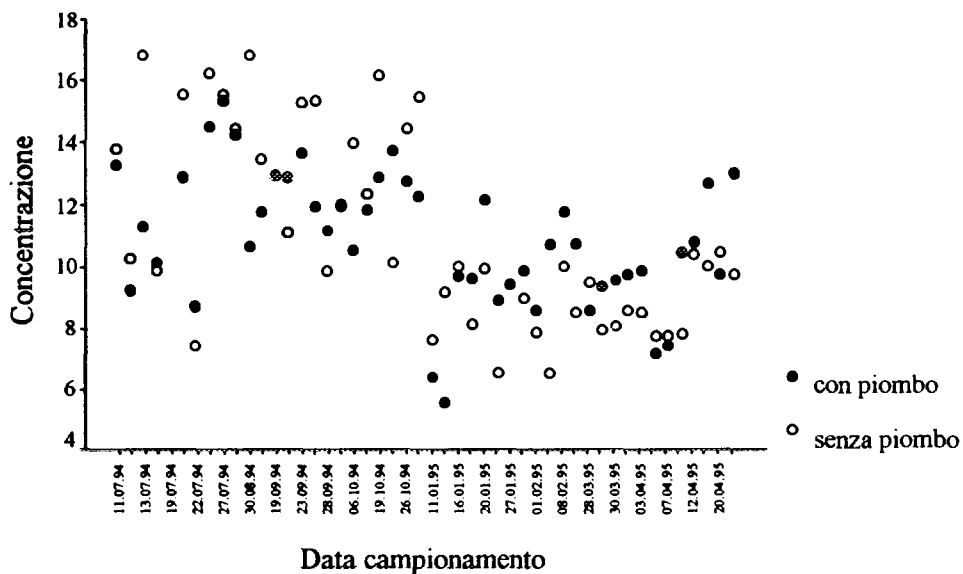
I campioni di benzina con piombo e senza piombo mostravano concentrazioni analoghe di benzene ed altri aromatici (Tabella 6). Si osservava una significativa diminuzione del contenuto di benzene nel carburante a partire dalla seconda metà del periodo in studio (Figura 4).

**Tabella 6.-** Concentrazioni di benzene ed altri aromatici (g/l) nel carburante (Roma 1994-95).

Variabile	Oss	Media	DS	Min	Max	MG	DSG
<b>Benzina con piombo</b>							
Benzene	47	10.95	2.15	5.61	15.35	10.70	1.23
Toluene	47	56.46	7.80	39.92	71.74	55.70	1.15
Xileni	47	60.00	10.98	38.39	86.49	59.15	1.21
Etilbenzene	47	10.82	2.32	6.98	15.75	10.59	1.25
<b>Benzina senza piombo</b>							
Benzene	46	11.03	3.13	6.57	16.88	10.59	1.32
Toluene	46	60.39	11.61	38.33	82.06	59.15	1.22
Xileni	46	59.41	15.53	32.11	88.33	57.40	1.32
Etilbenzene	46	11.29	3.26	5.58	17.29	10.80	1.36

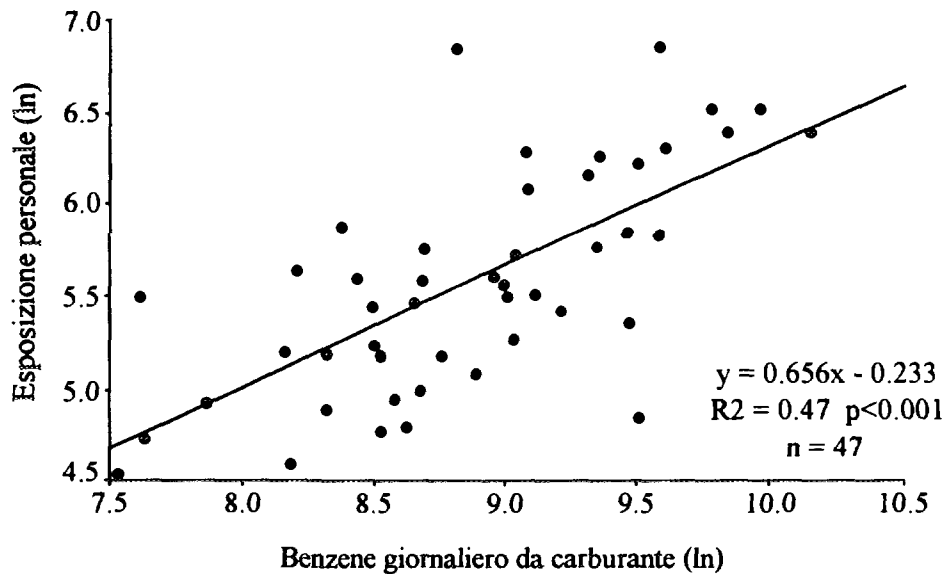
Oss = N° di osservazioni; Media = media aritmetica; DS = deviazione standard dalla media aritmetica; Min = minimo; Max = massimo; MG = media geometrica; DSG = deviazione standard dalla media geometrica.

Il “benzene giornaliero da carburante” (g), calcolato come sommatoria dei prodotti delle concentrazioni di benzene nei due tipi di carburante (g/l) per la quantità di ciascun tipo di benzina (l) erogata durante il giorno di campionamento, dimostrava un’elevata capacità predittiva dell’intensità individuale di esposizione a benzene (Figura 5).



Campionamento	Oss	Concentrazione di benzene		B	ES (B)	p
		g/l	v/v%			
1°	22	12.87	1.47%	riferimento		
2°	23	12.86	1.46%	-0.0139	0.5884	0.9812
3°	24	9.06	1.03%	-3.8150	0.5824	<0.0001
4°	24	9.42	1.07%	-3.4492	0.5824	<0.0001
(Costante)				12.8700	0.4207	

**Figura 4.-** Andamento temporale delle concentrazioni di benzene nella benzina con e senza piombo durante il periodo di monitoraggio (Roma, Luglio 1994-Aprile 1995).



**Figura 5.-** *Esposizione a benzene (ln  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in relazione al "benzene giornaliero da carburante" (concentrazione di benzene per quantità di benzina erogata, ln g).*

Contribuivano a spiegare quote ulteriori della variabilità totale nelle misure di esposizione individuale la presenza di una pensilina sull'area di rifornimento, la tendenza dell'addetto ad erogare in posizione ravvicinata al serbatoio dell'autoveicolo, la concentrazione atmosferica di fondo del benzene, la quantità di carburante eventualmente consegnata alla stazione e la velocità del vento (Tabella 7).

Quando venivano considerati simultaneamente gli effetti del "benzene giornaliero da carburante", della presenza di pensilina, della quantità di benzina consegnata dall'autocisterna, dell'attivazione o meno del sistema recupero vapori a livello delle cisterne di stoccaggio e il livello di fondo dell'inquinamento da benzene, il modello di regressione rendeva conto di circa il 70% della variabilità totale dell'intensità di esposizione individuale (Tabella 8).

**Tabella 7.- Effetti separati di diverse variabili predittive sull'esposizione personale a benzene tra i benzinai, stimati mediante analisi di regressione lineare controllando per il carico di lavoro giornaliero (Roma, 1994-95).**

Modello	Variabili nel modello	B	ES (B)	p	R <sup>2</sup>
1	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.6595	0.0957	<0.0001	0.564
	Pensilina sull'area di rifornimento (si vs no)	0.4973	0.1569	0.0028	
2	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.6457	0.0983	<0.0001	0.541
	Rifornimenti prossimità serbatoio (arcoseno %)	0.8819	0.3270	0.0099	
3	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.6355	0.1107	<0.0001	0.470
	Rifornimenti con sfiato di vapori (arcoseno %)	0.7338	1.2044	0.5455	
4	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.6702	0.1082	<0.0001	0.470
	Rifornimenti con traccimazione (arcoseno %)	0.2922	0.4804	0.5462	
5	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.6271	0.0990	<0.0001	0.540
	Benzene atmosferico (ln µg/m <sup>3</sup> )	0.3977	0.1491	0.0107	
6	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.5825	0.1044	<0.0001	0.534
	Carburante da autocisterna (1000 l)	0.0491	0.0195	0.0158	
	Sistema recupero vapori (si vs no)	-0.2283	0.3288	0.4912	
7	Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.6779	0.1053	<0.0001	0.557
	Velocità del vento: debole	riferimento			
	moderata	-0.2814	0.1392	0.0495	
	forte	-0.5517	0.2229	0.0174	

B = coefficiente di regressione; ES (B) = errore standard del coefficiente B; p = significatività della statistica t di Student; R<sup>2</sup> = coefficiente di determinazione; Benzene giornaliero da carburante =  $\Sigma[(\text{concentrazione di benzene nella benzina con piombo} \times \text{benzinacon piombo erogata}) + (\text{concentrazione di benzene nella benzina senza piombo} \times \text{benzina senza piombo erogata})]$ ; Benzene atmosferico = concentrazione di benzene in campioni di aria raccolti a 70 m di distanza dalla stazione di servizio, sopravvento; Sistema recupero vapori = a livello delle cisterne di stoccaggio del carburante.

**Tabella 8.-** Cambiamento nell'intensità di esposizione a benzene (ln  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) tra i benzinai per incremento unitario di diverse covariate stimato mediante analisi di regressione lineare multipla (47 osservazioni, Roma 1994-95).

Variabile	B	ES (B)	p
Benzene giornaliero da carburante (ln g)	0.5676	0.0863	<0.0001
Pensilina sull'area di rifornimento (si vs no)	0.5334	0.1390	0.0004
Carburante da autocisterna (1000 l)	0.0483	0.0165	0.0056
Sistema recupero vapori (si vs no)	-0.3288	0.2828	0.2517
Benzene atmosferico (ln $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.3154	0.1286	0.0185
(Costante)	-0.6319	0.8453	
$R^2 = 0.6977$ (p<0.0001)			

B = coefficiente di regressione; ES (B) = errore standard del coefficiente B; p = significatività della statistica t di Student;  $R^2$  = coefficiente di determinazione; Benzene giornaliero da carburante =  $\Sigma$ [(concentrazione di benzene nella benzina con piombo x benzina alchilata erogata) + (concentrazione di benzene nella benzina senza piombo x benzina senza piombo erogata)]; Benzene atmosferico = concentrazione di benzene in campioni di aria raccolti a 70 m di distanza dalla stazione di servizio, sopravvento; Sistema recupero vapori = a livello delle cisterne di stoccaggio del carburante.

#### 4. DISCUSSIONE

Nel 1992 era stata condotta una prima indagine di valutazione dell'esposizione in un gruppo di 111 benzinai, basata su 6 misure ripetute per soggetto, che aveva permesso di stimare un'intensità media di esposizione a benzene pari a  $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$  con ampi margini di variazione (Lagorio *et al.*, 1993). Due anni dopo, un sottogruppo di quei benzinai (tra i quali nel 1992 era stato misurato un livello medio di esposizione a benzene pari a  $1951 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , DS 5561) è stato incluso nella presente indagine, finalizzata alla sorveglianza dei livelli di esposizione e alla valutazione del ruolo di diverse sorgenti di variabilità nell'intensità di esposizione non considerate in precedenza.

Il livello medio di esposizione a benzene nel 1994-95 risultava molto inferiore a quello osservato nel 1992, principalmente a causa di una riduzione sia delle vendite giornaliere di benzina sia del contenuto di benzene nel carburante. Infatti, la quantità media di benzina erogata in un'ora dai 12 benzinai in esame risultava pari a 219 litri nel 1992 e a 172 litri in 1994-95 ( $p=0.015$ ); la concentrazione di benzene nel carburante misurata nel 1992 (Lagorio *et al.*, 1994) era in media 24 g/l (2.8% in volume) mentre scendeva a 11 g/l (1.3% v/v) nel 1994-95. Tuttavia, non è stato possibile analizzare in dettaglio i fattori responsabili di tale diminuzione nell'intensità media individuale di esposizione, in quanto la mancanza di rilevazioni sistematiche delle sorgenti di variabilità dell'esposizione nell'indagine del 1992 ha impedito di effettuare un valido confronto tra le differenze nei livelli di esposizione controllando l'effetto dei principali determinanti dell'intensità di esposizione.

Le concentrazioni relative di benzene, toluene, xileni, ed etilbenzene nei campioni di aria in zona respiratoria degli addetti erano diverse da quelle osservate nei campioni di aria atmosferica in prossimità della stazione, a conferma della diversità delle sorgenti di contaminazione (vapori di benzina per i campioni personali e gas di scarico autoveicolari per i campioni di background).

In accordo con le validazioni sperimentali precedentemente eseguite (Cohen *et al.*, 1990) è stata osservata un'ottima correlazione tra le concentrazioni di benzene misurate nelle due serie di campioni prelevati in parallelo mediante pompa aspirante e dosimetro passivo.

A causa delle limitate risorse disponibili l'indagine ha utilizzato un campione di dimensioni molto esigue in riferimento sia al numero di lavoratori monitorati sia alla quantità di misure ripetute per soggetto.

Nell'analisi delle componenti della varianza delle misure di esposizione è risultata largamente prevalente la sorgente "intra-individuale" rispetto a quella "inter-individuale". Questa osservazione è in accordo con precedenti studi che evidenziavano massimi valori di variabilità giornaliera nei livelli di esposizione a composti organici volatili tra

lavoratori all'aperto e/o addetti a processi lavorativi intermittenti (Kromhout *et al.*, 1993). Tale elevata variabilità intra-individuale dell'intensità di esposizione comporta una misclassificazione della stima del livello medio individuale di esposizione. Di conseguenza, quale contributo alla pianificazione di futuri programmi di sorveglianza, questa indagine suggerisce che ciascun addetto all'erogazione dovrebbe essere monitorato un giorno alla settimana per ottenere una misura accurata dell'intensità media annuale di esposizione.

Una strategia di monitoraggio alternativa e meno costosa potrebbe basarsi sull'approccio di "raggruppamento in categorie omogenee di esposizione", suggerito al fine di ridurre l'attenuazione nelle relazioni dose-risposta negli studi di epidemiologia occupazionale (Kromhout *et al.*, 1996). Tuttavia, il valore di  $B_{R_{0.95}}$  stimato per le concentrazioni di benzene in zona respiratoria nella presente indagine indica che l'esposizione media individuale può variare al massimo di tre volte tra un benzinaio e l'altro. Ciò comporta, in assenza di conoscenze *a priori* sui determinanti dell'intensità di esposizione, l'impossibilità pratica di suddividere ulteriormente i lavoratori in esame in sottogruppi che risultino al tempo stesso sufficientemente omogenei al loro interno e diversi tra loro.

A questo proposito i nostri dati indicano come variabili di raggruppamento potenzialmente rilevanti la quantità giornaliera di benzina erogata, le concentrazioni di benzene nel carburante e i livelli di fondo dell'inquinamento da benzene. Nell'analisi dell'intensità di esposizione sul lungo periodo potrebbe avere un ruolo importante il contrasto tra stazioni di piccole e grandi dimensioni (Lagorio *et al.*, 1993), data la correlazione negativa tra frequenza di consegne da autocisterna e quantità di carburante acquistato dal gestore dell'impianto, tanto minore quanto più piccolo è l'impianto.

Come ci si poteva ragionevolmente attendere, è stata osservata una tendenza all'aumento dei livelli di esposizione in relazione alla presenza di coperture sull'area di rifornimento e in associazione alla mancanza di sistemi di recupero vapori a livello delle cisterne di stoccaggio del carburante. Benchè la potenza statistica dello studio fosse

troppo scarsa per valutare adeguatamente il ruolo di tali caratteristiche strutturali, queste osservazioni hanno rilevanti implicazioni in termini di possibili misure di controllo dei livelli di esposizione a benzene tra i lavoratori addetti all'erogazione di carburanti.



**Bibliografia**

Bolej JSM, Buringh E, Heederik D, Kromhout H (1995). *Occupational hygiene of chemical and biological agents*. Amsterdam: Elsevier, pp. 106-109.

Castellino N, Giacomello P, Manzo L, Orrù G (1996). *Valutazione dell'esposizione a benzene nei vapori di benzina degli addetti all'erogazione dei carburanti*. Roma: Unione Petrolifera, pp.1-18

Cohen MA, Ryan PB, Yanagisawa Y, Hammond SK. (1990). The validation of a passive sampler for indoor and outdoor concentration of volatile organic compounds. *J Air & Waste Manag;*; 40: 993-997.

Das M, Bhargava SK, Kumar A, Khan A, Bharti RS, Pangtey BS, Rao GS, Pandya KP (1991). An investigation of environmental impact on health of workers at retail petrol pumps. *Ann Occup Hyg*; 35: 347-352.

Foo S-C (1991). Benzene pollution from gasoline usage. *Sci Tot Environ*; 103: 19-26.

Hartle R. Exposure to methyl tert-butyl ether and benzene among service station attendants and operators. *Environ Health Perspec*; 101 (suppl 6): 23-26.

Infante PF, Schwartz E, Cahill R (1990). Benzene in petrol: a continuing hazard. *The Lancet*; 336: 814-815.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (1989). *Occupational exposures in petroleum refining: crude oil and major petroleum fuels*. IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans. Lyon: IARC. Vol. 45.

Kromhout H, Symanski E, Rappaport SM (1993). A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. *Ann Occup Hyg*; 37: 253-270.

Kromhout H, Tielemans E, Preller L, Heederick D (1996). Estimates of individual dose from current measurements of exposure. *Occup Hyg*; 3: 23-39.

Lagorio S, Forastiere F, Iavarone I, Vanacore N, Fuselli S, Carere A (1993). Exposure assessment in a historical cohort of filling station attendants. *Int J Epidemiol*; 22 (suppl 2): s51-s56.

Lagorio S, Fuselli S, Iavarone I, Vanacore N, Carere A (1994). Benzene exposure in service stations and composition of gasoline. *Med Lav*; 85: 412-421.

Liu K, Stamler J, Dyer A, McKeever J, McKeever P (1978). Statistical methods to assess and minimize the role of intra-individual variability in obscuring the relationship between dietary lipids and serum cholesterol. *J Chron Dis*; 31: 399-418.

Machefer J, Bidron P, Guigner PM (1990). Exposition aux hydrocarbures benzéniques des carburants automobiles chez les mécaniciens et les pompistes. *Arch Mal Prof*; 51: 89-94.

Miscetti G, Bodo P, Mencarelli A, Ceppitelli R, Ballerani A, Fratini P, Ardizzone P, Migni L (1993). Exposure to benzene and homologues in a group of service station attendants. *Arch Sci Lav*; 9: 17-23.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (1977). *Manual of analytical methods. Standard completion program validated methods*. Cincinnati: DHEW (NIOSH). Vol. III.

Nordlinder R, Ljungkvist G. Benzene exposure at service stations, an occupational and environmental problem (1992). In: Brown R, Curtis M, Saunders K, Vandenriessche S (Eds). *Clean Air at Work. Proceedings from an International Symposium*. 9-13 September 1991. Luxembourg: The Royal Society of Chemistry Special Publications, No 108, pp. 93-95.

Norušis MJ (1994). *SPSS Advanced Statistics™ 6.1*. Chicago: SPSS Inc.

Rappaport SM (1991). Assessment of long-term exposures to toxic substances in air. *Ann Occup Hyg*; 35: 61-121.

Smith TJ, Hammond SK, Wong O (1993). Health effects of gasoline exposure. I. Exposure assessment for US distribution workers. *Environ Health Perspect*; 101 (suppl 6): 13-21.

Sperduto B (1993). Valutazione dell'esposizione al benzene di addetti e utenti nelle aree di servizio del settore AGIP Petroli. *Staff Quot Petrol* 61 (47): 1-15.

*Direttore reggente dell'Istituto Superiore di Sanità  
e Responsabile scientifico: Aurelia Sargentini*

*Direttore responsabile: Vilma Alberani*

*Stampato dal Servizio per le attività editoriali  
dell'Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena, 299 - 00161 ROMA*

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN  
deve essere preventivamente autorizzata.*

*Reg. Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988*

*Roma, dicembre 1996 (n. 4) 4° Suppl.*

*La responsabilità dei dati scientifici e tecnici  
pubblicati nei Rapporti e Congressi ISTISAN è dei singoli autori*

---

**Istituto Superiore di Sanità**  
Viale Regina Elena, 299 - 00161 Roma  
Direttore reggente: Aurelia Sargentini  
Tel. 06/49901  
Telex 610071 ISTSAN I  
Telegr. ISTISAN - 00161 Roma  
Telefax 06/49387118

---