

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente *indoor*

Sergio Fuselli (a), Antonella Piloizzi (a), Anna Santarsiero (a),
Gaetano Settimo (a), Silvia Brini (b), Arianna Lepore (b),
Gianluigi de Gennaro (c), Annamaria Demarinis Loiotile (c),
Annalisa Marzocca (c), Annamaria de Martino (d), Rosanna Mabilia (e)
per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento *Indoor*

(a) *Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria,
Istituto Superiore di Sanità (ISS), Roma*

(b) *Settore Valutazione Ambiente Urbano, Servizio Valutazioni
Ambientali, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Roma*

(c) *Dipartimento di Chimica Università degli Studi di Bari*

(d) *Centro Prevenzione e Controllo Malattie (CCM),*

Direzione generale della prevenzione, Ministero della Salute, Roma

(e) *Istituto sull'Inquinamento Atmosferico, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR),
Montelibretti, Roma*

ISSN 1123-3117

Rapporti ISTISAN

13/4

Istituto Superiore di Sanità

Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente *indoor*.

Sergio Fuselli, Antonella Pilozi, Anna Santarsiero, Gaetano Settimo, Silvia Brini, Arianna Lepore, Gianluigi de Gennaro, Annamaria Demarinis Loiotile, Annalisa Marzocca, Annamaria de Martino, Rosanna Mabilia
2013, vi, 31 p. Rapporti ISTISAN 13/4

Obiettivo di questo documento è quello di fornire una uniformità di applicazione di metodologie che consentono di caratterizzare e valutare le concentrazioni dei Composti Organici Volatili (COV) e della formaldeide in ambienti *indoor*. Si riportano i principali fattori da considerare per pianificare le attività di monitoraggio in relazione agli ambienti e alle sorgenti *indoor*. Vengono descritti i principi generali e le caratteristiche dei metodi per il campionamento e l'analisi dei COV e della formaldeide con riferimento alle norme elaborate a livello europeo.

Parole chiave: Composti Organici Volatili; Formaldeide; Ambienti *indoor*; Tecniche di campionamento; Monitoraggio; Analisi

Istituto Superiore di Sanità

Monitoring strategies for volatile organic compounds (VOCs) in indoor environments.

Sergio Fuselli, Antonella Pilozi, Anna Santarsiero, Gaetano Settimo, Silvia Brini, Arianna Lepore, Gianluigi de Gennaro, Annamaria Demarinis Loiotile, Annalisa Marzocca, Annamaria de Martino, Rosanna Mabilia
2013, vi, 31 p. Rapporti ISTISAN 13/4

Purpose of this document is to provide a uniformity of application of methodologies which allow to characterize and evaluate the volatile organic compounds (VOCs) and the formaldehyde concentrations in indoor air. This document reports the principal tools to study for planning the activities of monitoring indoor air quality. The general principles and the characteristics of the sampling and the analysis methods for VOCs and formaldehyde are described based on European standards.

Key words: Volatile Organic Compounds; Formaldehyde; Indoor Air Quality; Monitoring; Analysis

Per informazioni su questo documento scrivere a: gaetano.settimo@iss.it.

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it.

Citare questo documento come segue:

Fuselli S, Pilozi A, Santarsiero A, Settimo G, Brini S, Lepore A, de Gennaro G, Demarinis Loiotile A, Marzocca A, de Martino A, Mabilia R *Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/4).

Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità e Direttore responsabile: *Enrico Garaci*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988

Redazione: *Paola De Castro, Sara Modigliani e Sandra Salinetti*
La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori.



Il Gruppo di Studio Nazionale sull’Inquinamento *Indoor* dell’ISS è stato costituito con nota del 1° ottobre 2010 (Prot. PRE620/10 COR-M) dal Presidente dell’Istituto Superiore di Sanità, Prof. Enrico Garaci. Di seguito l’elenco dei componenti:

Massimo Berico	<i>Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile</i>
Vincenza Bianchimani	<i>Regione Toscana</i>
Salvatore Bongiorno	<i>Regione Valle d'Aosta</i>
Bruno Bove	<i>Regione Basilicata</i>
Silvia Brini	<i>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</i>
Giuseppe Caredda	<i>Regione Sardegna</i>
Angelo Cecinato	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
Daniela Cimini	<i>Regione Marche</i>
Alessandro Cipriani	<i>Regione Valle d'Aosta</i>
Fabrizio Cumo	<i>Sapienza Università di Roma</i>
Annamaria de Martino	<i>Ministero della Salute</i>
Maria delle Salette Mattiacci	<i>Regione Lazio</i>
Francesco Iacono	<i>Regione Sicilia</i>
Raimondo Ibba	<i>Regione Sardegna</i>
Paolo Izzo	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Rosanna La Vecchia	<i>Regione Toscana</i>
Rosanna Mabilia	<i>Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca</i>
Salvatore Minardi	<i>Regione Sicilia</i>
Marinella Natali	<i>Regione Emilia-Romagna</i>
Angelo Pellegrino	<i>Regione Piemonte</i>
Enrico Procopio	<i>Regione Piemonte</i>
Federica Rossi Gasparrini	<i>Associazione DonnEuropee Fedrecasalinghe</i>
Anna Santarsiero	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Genesio Scaloni	<i>Regione Marche</i>
Gaetano Settimo	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Luigi Turrio Baldassarri	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Massimo Valsecchi	<i>Regione Veneto</i>
Antonella Piloizzi	<i>Segreteria Organizzativa, Istituto Superiore di Sanità</i>
Sergio Fuselli	<i>Coordinatore del Gruppo, Istituto Superiore di Sanità</i>

Gruppo *ad hoc* di esperti:

Silvia Brini	<i>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</i>
Gianluigi de Gennaro	<i>Università di Bari</i>
Annamaria Demarinis Loiotile	<i>Università di Bari</i>
Annamaria de Martino	<i>Ministero della Salute</i>
Arianna Lepore	<i>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</i>
Rosanna Mabilia	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
Annalisa Marzocca	<i>Università di Bari</i>
Anna Santarsiero	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Gaetano Settimo	<i>Istituto Superiore di Sanità</i>
Sergio Fuselli	<i>Coordinatore del Gruppo, Istituto Superiore di Sanità</i>

INDICE

Presentazione	v
Introduzione	1
1. Strategie di monitoraggio dei COV	3
1.1. Caratteristiche emissive delle sorgenti	3
1.2. Obiettivi del monitoraggio	5
1.3. Durata e frequenza del campionamento	6
1.4. Scelta dei siti di monitoraggio e posizionamento dei campionatori	6
1.5. Misure in aria ambiente <i>outdoor</i>	7
1.6. Misura di parametri caratterizzanti l'ambiente in esame	7
1.7. Procedure di riferimento per le attività di monitoraggio	8
2. Tecniche di campionamento e di analisi dei composti organici volatili	11
2.1. Campionamento	11
2.1.1. Campionamento attivo con cartucce adsorbenti	11
2.1.2. Campionamento diffusivo (passivo)	11
2.1.3. Campionamento mediante <i>canister</i>	12
2.2. Tecniche analitiche	13
2.2.1. Desorbimento termico - principio del metodo	13
2.3. Metodi per una valutazione preliminare - screening	14
3. Tecniche di campionamento e di analisi per la formaldeide e altri composti carbonilici	15
3.1. Campionamento	15
3.1.1. Campionamento attivo con cartucce chemiadsorbenti	15
3.1.2. Campionamento diffusivo (passivo)	16
3.2. Tecniche analitiche	16
Appendice A. Report delle informazioni da registrare durante i monitoraggi dell'aria <i>indoor</i>	18
Appendice B. Elenco dei principali COV che possono essere presenti negli ambienti <i>indoor</i>	23
Appendice C. Guida per la selezione degli adsorbenti- UNI EN ISO 16017-1: Campionamento e analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 1: Campionamento mediante aspirazione con pompa	27
Riferimenti bibliografici	28

PRESENTAZIONE

Nell'ambito del Gruppo di Studio Nazionale (GdS) sull'inquinamento *indoor*, istituito nel 2010 presso l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e costituito da esperti dello stesso ISS, di altri Enti e Istituti di ricerca, Università, Ministero della Salute e Regioni, è emersa la necessità di predisporre con urgenza un documento condiviso, che fornisca una metodologia univoca per la caratterizzazione e valutazione di inquinanti chimici allo stato aeriforme negli ambienti confinati (*indoor*).

Attualmente, in Italia, non esiste una specifica regolamentazione che definisca in maniera puntuale e omogenea procedure di rilevazione, monitoraggio e campionamento degli inquinanti *indoor*. Al fine di contribuire a colmare tale lacuna è stato attivato dal GdS un gruppo *ad hoc* composto da esperti individuati dallo stesso GdS.

Il presente documento rappresenta il risultato del lavoro del suddetto gruppo *ad hoc* ed è rivolto in particolare a quelle strutture che, a vario titolo, sono preposte allo studio e/o al controllo della qualità dell'aria negli ambienti confinati finalizzato alla tutela della salute umana.

Le attività di monitoraggio *indoor* e la valutazione dei fattori di rischio per la salute, risultano elementi fondamentali all'individuazione delle misure necessarie a prevenire e/o a ridurre i livelli di concentrazione degli inquinanti.

In questo contesto si è posta prioritariamente l'attenzione ai Composti Organici Volatili (COV) che costituiscono una classe rilevante di inquinanti negli ambienti confinati, con caratteristiche intrinseche molto differenti fra una sostanza e l'altra e con impatti diversi in relazione a fattori quali persistenza ambientale, tossicità, soglia olfattiva.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nelle linee guida per la qualità dell'aria *indoor* (1) indica valori guida per un certo numero di inquinanti, tra cui alcuni COV, quali: benzene, formaldeide, tricloroetilene, tetracloroetilene e naftalene (anche quest'ultimo incluso nei COV) oltre a biossido di azoto, monossido di carbonio, idrocarburi policiclici aromatici (in particolare benzo[a]pirene).

I COV sopra elencati sono stati considerati prioritari nell'ambito del progetto INDEX della Commissione Europea (2, 3) i cui principali risultati sono stati recepiti nelle citate linee guida OMS.

Nella definizione dei criteri per la pianificazione delle metodologie e delle modalità di campionamento/analisi dei COV, si è tenuto conto anche del fatto che, normalmente, gli occupanti degli edifici risultano esposti non a una singola sostanza ma a una miscela di sostanze inquinanti, in concentrazioni variabili nello spazio e nel tempo, emesse da sorgenti che possono essere differenti per numero e tipologia.

Nella prima fase del lavoro è stata effettuata una revisione della documentazione tecnica più aggiornata relativa alle norme di riferimento disponibili a livello europeo e internazionale, alle metodiche di campionamento ed analisi specifiche negli ambienti confinati, alla identificazione sia delle sorgenti *indoor* sia dei possibili apporti esterni oltre ad altri aspetti quali: ricambi aria, sistemi di ventilazione, ecc..

Per quanto riguarda in particolare le indicazioni sugli aspetti generali della strategia di campionamento, gli obiettivi, le metodologie e i tempi di rilevamento si è tenuto conto della norma tecnica "UNI EN ISO 16000-1:2006 Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento".

Loredana Musmeci
Direttore del Dipartimento Ambiente
e Connessa Prevenzione Primaria

Sergio Fuselli
Coordinatore del GdS

INTRODUZIONE

È ormai di uso comune definire con il termine “*indoor*” gli ambienti di vita e di lavoro non industriali e in particolare quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto (4). Tale definizione è stata anche proposta nell’Accordo Stato-Regioni del 27/09/2001 (5) riferendola ad abitazioni, uffici pubblici e privati, strutture comunitarie (ospedali, scuole, uffici, caserme, alberghi, banche, ecc.), locali destinati ad attività ricreative e sociali (cinema, ristoranti, bar, negozi, strutture sportive, ecc.), mezzi di trasporto pubblico e privato (auto, treno, aereo, nave, ecc.).

Gli inquinanti *indoor*, che possono agire singolarmente o combinati con altri fattori, determinano una diminuzione del *comfort* ambientale e un rischio per la salute; sono agenti di tipo chimico (composti organici e inorganici), fisico (radiazioni ionizzanti e non ionizzanti) e biologico (microrganismi, muffe, acari) (1).

Come risulta da alcune indagini condotte a livello europeo, la popolazione dei centri urbani trascorre in media il 95-97% del tempo negli ambienti confinati; il 2,4% nei mezzi di trasporto e l’1% nell’ambiente esterno (*outdoor*) (6). Anche in Italia sono stati condotti studi analoghi sulla popolazione residente in alcune aree urbane al fine di acquisire informazioni dettagliate sugli stili di vita (7, 8).

Nel corso degli ultimi decenni si è assistito a un progressivo deterioramento della qualità dell’aria negli ambienti confinati; numerosi studi scientifici hanno infatti dimostrato la presenza, nell’aria degli ambienti di vita, di agenti inquinanti a bassa concentrazione di difficile misurazione che possono determinare effetti sulla salute non ancora completamente noti (9).

Considerato che gran parte della popolazione trascorre il proprio tempo in ambienti confinati, l’esposizione all’inquinamento *indoor* è dominante rispetto a quella *outdoor*.

È necessario aggiungere che la qualità dell’aria *indoor* dipende oltre che dalla presenza di sorgenti interne, anche dalla qualità dell’aria esterna. Le principali fonti interne sono determinate dall’uomo e dalle sue attività, dai materiali da costruzione, dagli arredi e dai sistemi di trattamento dell’aria; fra questi una delle fonti più importanti è sicuramente il fumo di tabacco, oltre ai processi di combustione di combustibili fossili. Altre possibili fonti interne di inquinamento sono i prodotti per la pulizia e la manutenzione della casa, i prodotti antiparassitari, l’uso di colle, adesivi, solventi oltre all’utilizzo di strumenti di lavoro quali stampanti, plotter e fotocopiatrici, ecc. (10).

Negli ultimi anni inoltre l’attenzione scientifica si è rivolta anche a ulteriori possibili fonti di contaminazione dell’aria *indoor* e precisamente all’intrusione di vapori provenienti da suoli e falde acquifere contaminate da sostanze volatili che, in alcune aree, possono rivestire un importante ruolo nelle esposizioni.

L’esposizione agli inquinanti presenti nell’aria *indoor* può essere responsabile dell’insorgenza di specifiche patologie o dell’aggravamento di patologie preesistenti in fasce di popolazione più vulnerabile quali i bambini che trascorrono la maggior parte del loro tempo a casa e a scuola (11, 12). Alcuni studi condotti nell’Europa del nord hanno dimostrato come l’asma in bambini e adolescenti sia risultata positivamente associata anche alla presenza nell’ambiente scolastico di composti organici volatili (COV). Inoltre una cattiva qualità dell’aria e condizioni microclimatiche non ottimali possono influenzare negativamente la *performance* del lavoro scolastico degli studenti (13).

Studi di settore hanno evidenziato come in presenza di fonti interne e con bassi livelli di ricircolo dell’aria, i livelli degli inquinanti riscontrabili negli ambienti *indoor*, e in particolare i livelli dei composti organici volatili, possono essere di gran lunga superiori rispetto a quelli rilevati all’esterno, talvolta anche 10-20 volte maggiori, come nel caso della formaldeide (14).

Alcuni COV come il benzene e la formaldeide sono classificati dalla IARC (*International Agency for Research on Cancer*) come cancerogeni - Gruppo 1: cancerogeno accertato per l'uomo (15).

I COV comprendono un'ampia classe di sostanze con varie caratteristiche chimico/fisiche e vari Enti hanno proposto diverse definizioni; di seguito si riportano quelle maggiormente significative:

- L'OMS, nel documento *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*, classifica i COV in 4 gruppi (molto volatili, volatili, semivolatili, materiale particolato) in base ai punti di ebollizione, con un limite inferiore tra 50-100°C e un limite superiore fra 240-260°C.
- L'European Concerted Action (ECA) nel documento *Evaluation of VOC emissions from building products: solid flooring materials* riporta una classificazione dei COV in base al tempo di ritenzione cromatografico: "tutti i composti organici volatili, eluiti in una colonna capillare rivestita con il 100% di dimetilpolisilossano, nell'intervallo di ritenzione compreso tra il n-esano (C6) e l'esadecano (n-C16)"; questo intervallo corrisponde a punti di ebollizione compresi tra 50-290°C.
- L'UNI EN ISO 16000-5 Part 5: *Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs)* riprende la classificazione dei COV secondo l'OMS.
- Mentre l'Unione Europea (UE) nella direttiva 1999/13/CE sulla limitazione delle emissioni di composti organici volatili dovute all'uso di solventi organici in talune attività e in taluni impianti, recepita in Italia dal DM 44/04, definisce come COV "qualsiasi composto organico che abbia a 293,15 K una pressione di vapore di 0,01 kPa o superiore, oppure che abbia una volatilità corrispondente in particolari condizioni d'uso".
- Successivamente sempre l'UE nella direttiva 2004/42 sulla limitazione delle emissioni di composti organici volatili conseguenti all'uso di solventi in talune pitture e vernici, nonché in prodotti per la carrozzeria, recepita in Italia con il DLgs 161/06, definisce come COV "qualsiasi composto organico avente un punto di ebollizione iniziale pari o inferiore a 250°C misurato a una pressione standard di 101,3 kPa".

Nel presente documento è stata utilizzata la definizione proposta dall'OMS considerando che tale definizione è largamente seguita a livello internazionale da Istituzioni preposte alla tutela della salute.

1. STRATEGIE DI MONITORAGGIO DEI COV

Per effettuare il monitoraggio di Composti Organici Volatili (COV), compresi i composti carbonilici in ambienti *indoor*, è necessario definire una opportuna strategia che garantisca un'accurata misura dei livelli di concentrazione di tali inquinanti. Tale attività potrà essere utilizzata per una successiva valutazione dell'esposizione della popolazione presente in tali ambienti.

Allo scopo è indispensabile avere chiaro quali siano gli obiettivi della misura e conoscere, ove possibile, le caratteristiche degli ambienti *indoor*, le sorgenti, le attività che vengono svolte e i tempi di permanenza della popolazione (vedasi anche Appendice A).

I livelli delle concentrazioni dei COV dipendono dall'emissione della/e sorgente/i, dal volume dell'ambiente indagato, dalla reattività chimica delle sostanze, dall'interazione con le superfici dei materiali presenti nell'ambiente (es. materiali da costruzione, arredi, ecc.), dal contributo dell'aria esterna e dalla presenza di sistemi di ventilazione, ecc. (16-18).

In relazione a tali caratteristiche potrebbe risultare in alcuni casi necessario effettuare accertamenti preliminari tramite la raccolta di informazioni rilevanti per gli obiettivi dell'indagine, attraverso appositi questionari (l'Appendice A riporta un elenco delle voci da considerare che andranno selezionate caso per caso dall'operatore), o l'esecuzione di misure di screening. Queste ultime possono essere condotte mediante strumenti a misura diretta dotati di rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) o a fotoionizzazione (PID) (19) per acquisire i profili temporali delle sorgenti, o attraverso campionamenti a breve termine (campionamento attivo) utilizzando cartucce adsorbenti (20) o *canister* (21) mediante i quali è possibile accertare la presenza di COV.

Tali informazioni possono risultare utili per la definizione dei punti di misura, della tecnica di monitoraggio e dell'opportuna durata dello stesso.

L'Appendice B riporta un elenco dei principali COV che possono essere presenti negli ambienti *indoor*.

1.1. Caratteristiche emissive delle sorgenti

È possibile operare una distinzione delle sorgenti di COV in funzione degli andamenti nel tempo dei livelli di emissione.

In generale le sorgenti possono essere distinte in continue o intermittenti (17).

Le sorgenti continue possono essere a loro volta distinte in costanti o irregolari.

Un profilo emissivo tipico di sorgenti continue-costanti è riportato nella Figura 1. Sono sorgenti continue-costanti quelle che generano emissioni uniformi nel tempo, per esempio i materiali di arredo che emettono formaldeide per lunghi periodi di tempo o quelli utilizzati nell'edilizia quali ad esempio il linoleum, il sughero, il parquet, le finiture in legno, ecc.

Sono sorgenti continue-irregolari quelle che generano flussi emissivi che diminuiscono nel tempo anche in dipendenza con le variazioni delle condizioni microclimatiche (velocità dell'aria, umidità e temperatura dell'ambiente). Un esempio è rappresentato da una parete sottoposta all'applicazione di vernici e/o adesivi (in particolare l'emissione proveniente da solventi organici e dalla degradazione di prodotti per la protezione dei materiali). La Figura 2 riporta un profilo emissivo tipico di sorgenti continue-irregolari.

Le sorgenti intermittenti possono essere a loro volta di tipo ricorrenti oppure occasionali.

Un tipico esempio di sorgente intermittente è la cottura dei cibi, e nella Figura 3 viene riportato tipico profilo emissivo.

I prodotti utilizzati nella pulizia degli ambienti appartenenti alla famiglia degli *airfreshener* (deodoranti, candele profumate, bastoncini di incenso, fragranze, oli per legno, ecc.), rappresentano tipiche sorgenti con profilo emissivo di tipo intermittente-occasionale (22, 23). Nella Figura 4 è rappresentato un profilo emissivo tipico.

Le sorgenti sopra descritte rappresentano quelle che più comunemente sono riscontrabili. Oltre a queste nella pratica, si possono presentare varie combinazioni, in sequenza o meno, dei vari andamenti emissivi riportati.

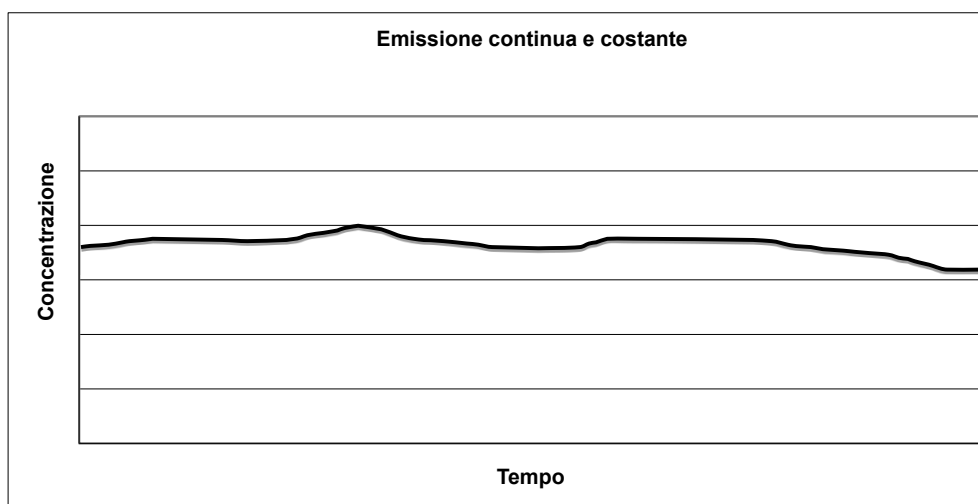


Figura 1. Profilo emissivo caratteristico di una sorgente continua-costante su lungo periodo con andamento uniforme

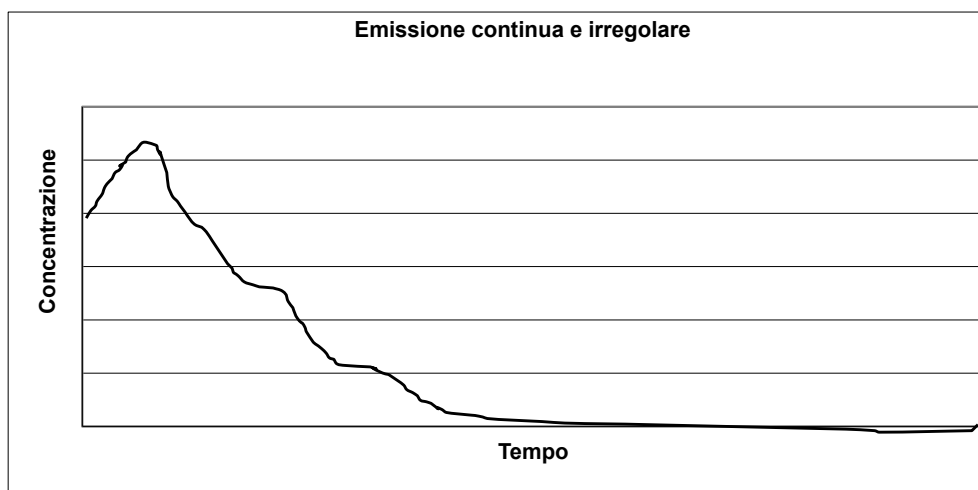


Figura 2. Profilo emissivo caratteristico di una sorgente continua-irregolare con andamento discendente

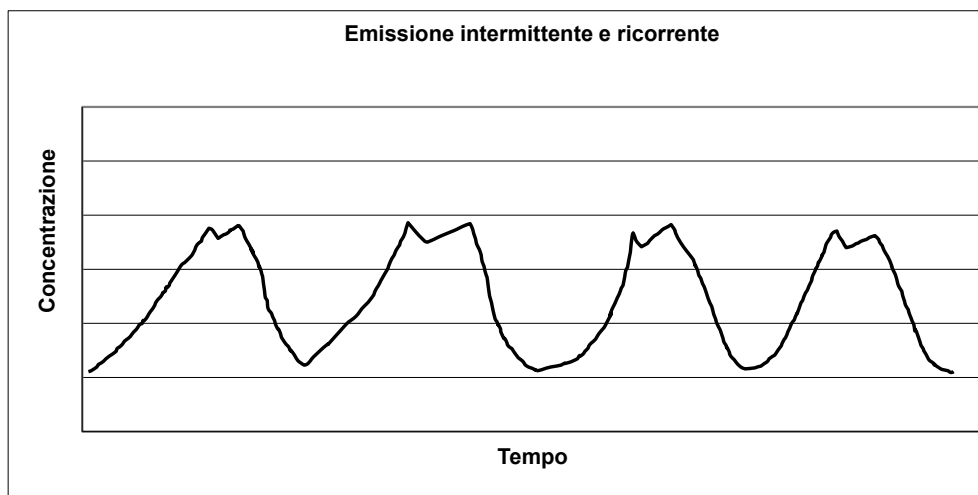


Figura 3. Profilo emissivo caratteristico di una sorgente intermittente-ricorrente con andamento uniforme

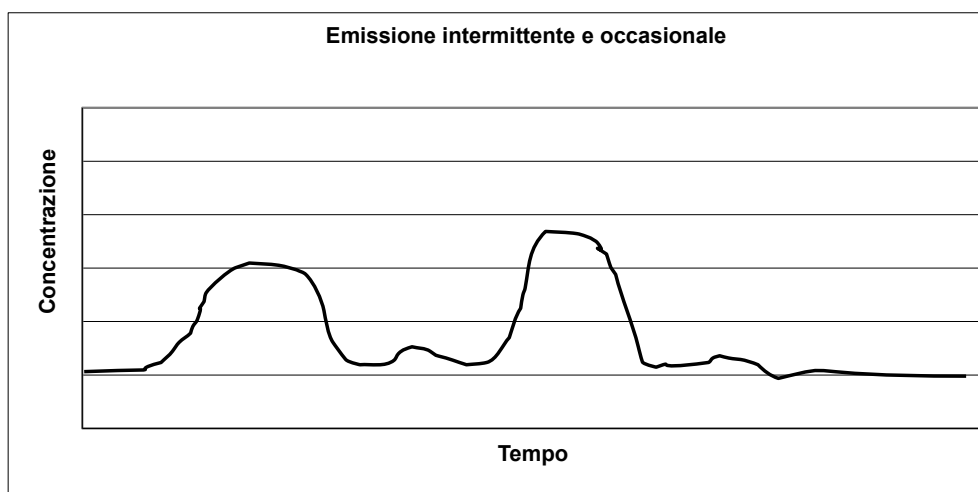


Figura 4. Profilo emissivo caratteristico di una sorgente intermittente-occasionale con andamento variabile

1.2. Obiettivi del monitoraggio

Le attività di monitoraggio di COV in ambienti *indoor* vengono principalmente condotte per conoscere i livelli di concentrazione dei diversi COV in funzione delle loro caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche per identificare le sorgenti di emissione. Tali misure si rendono necessarie per:

- 1) rispondere ai reclami presentati dai fruitori degli ambienti;
- 2) condurre attività di sorveglianza a seguito di situazioni accertate di inquinamento;
- 3) condurre attività di sorveglianza per valutare l'efficacia di un eventuale rimedio adottato;

- 4) eseguire la raccolta di specifiche informazioni per agevolare i processi decisionali in sede di valutazione dell'esposizione della popolazione con riferimento ai diversi tempi di permanenza in un dato ambiente;
- 5) verificare il rispetto di valori guida stabiliti dalle autorità competenti.

1.3. Durata e frequenza del campionamento

Per pianificare l'attività di monitoraggio e per individuare le opportune tecniche di campionamento e analisi dei COV oggetto d'indagine, occorre definire il periodo temporale di osservazione (durata della misura) al fine di ottenere il valore di concentrazione di interesse (istantaneo, medio orario, medio giornaliero, medio settimanale, medio mensile, ecc.). Se l'obiettivo è la conoscenza del valore massimo di concentrazione in un momento o fase specifica, è necessario effettuare campionamenti di breve durata; se invece si vuole confrontare la concentrazione ottenuta con un valore guida di riferimento, la durata del campionamento deve essere uguale al tempo associato al valore guida. Se la durata del campionamento è inferiore alla durata prevista dal valore guida, la misura rappresenta solo un riferimento orientativo - operativo. Se l'obiettivo è la valutazione dell'efficacia delle azioni adottate, le modalità di monitoraggio (es. durata) devono essere le stesse prima e dopo l'intervento-rimedio effettuato.

La durata del prelievo, vincolata dalle prestazioni dei sistemi di campionamento e dai limiti di quantificazione delle metodiche analitiche adottate, deve essere scelta inoltre in relazione:

- alla natura e dai potenziali effetti sulla salute dei COV considerati;
- alle concentrazioni dei COV;
- alle caratteristiche emissive delle sorgenti (21).

In ragione della durata dei campionamenti, si parla di monitoraggi a breve termine o a lungo termine (periodi superiori a diverse ore).

1.4. Scelta dei siti di monitoraggio e posizionamento dei campionatori

Grande importanza assume la scelta del luogo di campionamento, infatti un posizionamento poco rappresentativo dell'ambiente che si intende indagare rende improduttiva l'attività di monitoraggio. Se si tratta di un edificio, generalmente non è necessario investigare tutti i suoi ambienti, ma devono essere individuate le aree più rappresentative in relazione all'obiettivo del monitoraggio. La posizione del campionatore all'interno di un ambiente influenza fortemente la misura e quindi i risultati. Nel posizionare la strumentazione di campionamento, va tenuto conto anche dei possibili gradienti di concentrazione che si possono verificare. Se l'ambiente investigato è di grandi dimensioni va valutata la possibilità di effettuare una virtuale suddivisione dell'area e stabilire uno o più siti di campionamento; questo è particolarmente utile se vengono effettuati monitoraggi a breve termine per valutare una specifica fase emissiva. Se si ritiene che i livelli emissivi siano legati a particolari attività svolte dagli occupanti, è utile campionare nell'area in cui tale attività viene svolta.

In presenza di livelli anomali di concentrazione di COV misurati, può risultare utile studiare la natura e le caratteristiche emissive della sorgente raccogliendo possibilmente ulteriori informazioni così come riportati nella apposita Appendice A.

È consigliabile posizionare il campionatore al centro dell'area oggetto di studio o, nel caso in cui questo risulti di difficile realizzazione, almeno ad una distanza tra 1 e 2 m dalla parete e a un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento. Nel caso di uffici, scuole o asili, il campionatore va posizionato a un'altezza compresa tra 1 e 1,2 m (19), mentre non è consigliabile posizionare il campionatore in luoghi in cui ci sia diretto irraggiamento solare o la presenza di fonti di calore, correnti d'aria o fonti di ventilazione artificiale. È necessario porre grande attenzione ai moti d'aria, che dipendono dalla natura e dall'entità della ventilazione, soprattutto se per il monitoraggio vengono utilizzati campionatori di tipo passivo, questo al fine di mantenere costante il processo diffusivo degli inquinanti sulla cartuccia del campionatore (24, 25).

1.5. Misure in aria ambiente *outdoor*

Al fine di individuare il contributo delle sorgenti interne alle concentrazioni dei COV è opportuno confrontarle con le corrispondenti concentrazioni *outdoor*, che possono fornire informazioni circa l'entità del contributo esterno.

È fondamentale considerare che processi di ventilazione, infiltrazione, intrusione producono un costante scambio tra l'aria *outdoor* e l'aria *indoor*; pertanto è importante confrontare i risultati ottenuti negli ambienti confinati con simultanei campionamenti dell'aria *outdoor*. I campionamenti *outdoor* devono essere effettuati nelle vicinanze dell'edificio ad almeno 1-2 m dalla parete esterna e a un'altezza confrontabile con quella del campionatore utilizzato per la misura *indoor* (17, 19). È da considerare che in aria ambiente *outdoor* possono realizzarsi gradienti verticali di concentrazione, come ad esempio quelli riscontrabili in strade urbane particolarmente strette (effetti *canyon*).

Inoltre se l'edificio oggetto d'indagine è dotato di sistemi di ventilazione, il campionatore va posizionato in prossimità della presa d'aria d'ingresso per valutare correttamente il contributo *outdoor*.

1.6. Misura di parametri caratterizzanti l'ambiente in esame

La presenza di COV in ambienti *indoor* è notevolmente influenzata dalle caratteristiche strutturali degli ambienti, dalle condizioni microclimatiche, dai ricambi d'aria, dall'attività svolta e dalle sorgenti presenti. È opportuno pertanto avere informazioni di dettaglio circa le caratteristiche strutturali degli ambienti (dimensioni, presenza di porte, finestre, caratteristiche degli infissi, ecc.) e la loro destinazione d'uso. Infatti a parità di sorgenti *indoor* e *outdoor*, la diffusione dei COV nell'ambiente, la loro reattività chimica e la potenziale interazione con le superfici (materiali edili, arredi, ecc.), dipendono unicamente da fattori che influenzano la fluidodinamica all'interno degli ambienti. Pertanto è opportuno monitorare gli andamenti temporali dei principali parametri microclimatici come la velocità dell'aria, la temperatura ambiente e l'umidità relativa. Parimenti occorre conoscere la frequenza dei ricambi d'aria, più complessivamente gli scambi tra *indoor* e *outdoor* e l'eventuale presenza/attività degli occupanti. Tali informazioni possono essere ricavate o dalla compilazione di opportuni questionari da parte degli stessi occupanti o attraverso la misura di altri importanti parametri come l'anidride carbonica.

1.7. Procedure di riferimento per le attività di monitoraggio

La misura dei COV può essere eseguita, tenendo conto delle indicazioni presenti nelle norme UNI EN ISO:

- prelevando nell'ambiente indagato campioni di aria successivamente analizzati in laboratorio;
- conducendo i campionamenti e le analisi *in situ* con sistemi a misura diretta in tempo reale, previo utilizzo di miscele gassose a concentrazioni note e certificate.

In presenza di sistemi di ventilazione meccanica è consigliabile campionare in un'ora una quantità di aria inferiore al 10% dei volumi di aria immessi per ventilazione nello stesso periodo di tempo. Se la velocità di ventilazione non può essere misurata o comunque l'informazione non è disponibile, il volume orario di campionamento dovrebbe essere inferiore al 10% del volume della stanza.

In ambienti ventilati naturalmente, è consigliabile effettuare, prima di iniziare le attività di campionamento, una ventilazione di almeno 15 minuti, tenendo aperte porte e finestre. Dopo tale periodo di tempo le porte e le finestre dovranno essere richiuse per circa 8 ore (preferibilmente per un'intera notte); successivamente si procederà con il campionamento adottando l'opportuna durata, con porte e finestre chiuse.

Per conoscere l'effetto sulle concentrazioni dei COV dovuto ai ricambi d'aria precedentemente effettuati è necessario eseguire un ulteriore ricambio dell'aria con l'esterno per almeno 5 minuti. Dopo tale periodo di tempo le porte e le finestre dovranno essere richiuse; trascorsa un'ora va effettuata la nuova attività di campionamento programmata.

In ambienti dotati di sistemi di ventilazione meccanica o di condizionamento, il sistema dovrebbe operare in maniera abituale per almeno 3 ore prima di iniziare l'attività di campionamento, monitorando opportunamente il funzionamento del sistema di ventilazione (19).

Nel monitoraggio di situazioni emissive accidentali, il campionamento deve essere effettuato, senza alterare le condizioni ambientali, previa evacuazione degli occupanti.

Il Comitato Europeo di Normazione (CEN) e l'International Organization for Standardization (ISO), hanno elaborato metodologie di monitoraggio per la determinazione di COV in ambienti *indoor*.

La Tabella 1 riporta un elenco di norme EN ISO per gli ambienti confinati recepite in Italia dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI).

Tabella 1. Elenco Norme EN ISO per gli ambienti confinati attualmente recepite in Italia dall'UNI**UNI EN ISO 16000****Aria in ambienti confinati**

Parte 1	Aspetti generali della strategia di campionamento (19)
Parte 2	Strategia di campionamento per la formaldeide (16)
Parte 5	Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC) (17)
Parte 7	Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria (27)
Parte 9	Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in camera di prova di emissione (28)
Parte 10	Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Metodo in cella di prova di emissione (29)
Parte 11	Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Campionamento, conservazione dei campioni e preparazione dei provini (30)
Parte 12	Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (31)
Parte 15	Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO ₂) (32)
Parte 26	Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO ₂) (33)

UNI EN ISO 16017**Aria in ambienti confinati, aria ambiente ed aria negli ambienti di lavoro. Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare**

Parte 1	Campionamento mediante aspirazione con pompa (20)
Parte 2	Campionamento per diffusione (22)

UNI EN 13779**Ventilazione degli edifici non residenziali- Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione****UNI EN 14412****Qualità dell'aria in ambienti confinati Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e di vapori Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione****UNI EN 15242****Ventilazione degli edifici: metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni****UNI EN 15251****Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica**

In Tabella 2 si riportano alcune condizioni operative per il campionamento che riprendono le raccomandazioni proposte nel documento elaborato dall'European Concerted Action (ECA) nel report numero 6 *Strategy for sampling chemical substances in indoor air* (38).

Tabella 2. Condizioni operative sulla frequenza di campionamento elaborate dall'ECA

Parametri	Obiettivi delle misure	
	Concentrazione media	Concentrazione massima
Temperatura Ambiente	Condizioni normali	Condizioni normali
Umidità Relativa	Condizioni normali	Condizioni normali
Stato di ventilazione		
Prima del campionamento	Normale	Nessuna ventilazione; porte e finestre chiuse
Durante il campionamento	Normale	Nessuna ventilazione; porte e finestre chiuse
Occupazione	Normale attività	Massima occupazione
Stato della sorgente	Normale utilizzo	Utilizzo notevole (*) (cospicuo o rilevante)
Posizionamento del campionario	Centro della stanza a 1-2 m di altezza	In prossimità dell'attività 1 m dalla principale sorgente
Frequenza del campionamento	In funzione dell'obiettivo generalmente nella stagione calda e nella stagione fredda	Durante l'attività
Durata del campionamento	> 1 giorno	30-60 minuti
Minimo numero di campioni (**)		
Per indagini preliminari	1 nella stagione calda e 1 nella stagione fredda	1 nella stagione calda e 1 nella stagione fredda
Per controlli di conformità	2 nella stagione calda e 2 nella stagione fredda	3 nella stagione calda e 3 nella stagione fredda

(*) Attenzione dovrà essere posta alle istruzioni e ai consigli di uso dei prodotti. Se sono presenti sorgenti di combustione va valutato l'aumento della concentrazione di monossido di carbonio, di temperatura e di umidità relativa.

(**) È consigliabile effettuare dei replicati.

2. TECNICHE DI CAMPIONAMENTO E DI ANALISI DEI COMPOSTI ORGANICI VOLATILI

2.1. Campionamento

In relazione agli obiettivi del monitoraggio possono essere pianificati campionamenti a breve termine (tempo di campionamento compreso tra alcuni minuti e diverse ore), generalmente realizzati con un campionamento attivo su cartucce adsorbenti (20) o *canister* (21) o campionamenti a lungo termine (tempo di campionamento da qualche ora a diversi giorni), generalmente condotti con campionatori diffusivi (22).

2.1.1. Campionamento attivo con cartucce adsorbenti

Il campionamento con tubi contenenti materiali adsorbenti, viene effettuato con idonei sistemi di aspirazione (pompe di campionamento) opportunamente calibrati alla portata richiesta (39). Questa procedura di campionamento è applicabile ad una vasta gamma di COV. Può risultare utile effettuare dei replicati delle misure e conservare un certo numero di campioni per analisi successive o prove in doppio.

Nel caso del successivo desorbimento con solvente, tale metodo prevede che un volume noto di aria campione venga fatto passare attraverso un tubo (piccolo, medio, grande) costituito da due settori denominati settore analitico e settore testimone, mentre si utilizzano uno o più tubi in serie nel caso del successivo desorbimento termico. L'opportunità di utilizzare tale metodo è da verificarsi in relazione alle concentrazioni *indoor* dei COV di interesse. Infatti, questo tipo di campionamento dipende dal materiale adsorbente, dalla durata, dai volumi di campionamento e dalla sensibilità strumentale per l'analisi del campione. Tale metodo è generalmente appropriato per concentrazioni, per singolo composto, a partire da $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel caso venga utilizzata una combinazione di tubi adsorbenti, essi vengono disposti in relazione alla loro capacità adsorbente, facendo in modo che il tubo contenente l'adsorbente più forte sia quello più vicino alla pompa (40). I materiali adsorbenti devono essere conformi a quanto specificato nella norma UNI EN ISO 16017-1 (vedi Appendice C) (20) e nella norma ISO 16000-6 (41).

I composti con punto di ebollizione molto basso potrebbero essere trattenuti solo parzialmente dagli adsorbenti e saranno stimati solo qualitativamente, mentre i composti semi-volatili potrebbero essere trattenuti completamente dagli adsorbenti, e recuperati solo parzialmente.

Terminata la fase di campionamento i tubi devono essere richiusi con gli appositi tappi e conservati in contenitori di vetro o metallo in sistemi refrigerati mantenuti a temperatura controllata fino al momento dell'analisi. Tale condizione deve essere soddisfatta anche durante il trasporto.

2.1.2. Campionamento diffusivo (passivo)

Il campionamento passivo di COV viene effettuato esponendo un campionatore di tipo diffusivo contenente un opportuno materiale solido adsorbente. Tale campionamento risulta particolarmente conveniente per attività di monitoraggio a lungo termine (41-46). Anche il campionamento diffusivo in relazione alle caratteristiche del materiale adsorbente utilizzato si presta alla determinazione di una vasta gamma di COV.

Il campionatore è costituito da una cartuccia adsorbente inserita all'interno di un corpo diffusivo. I COV, attraversato il diffusore, vengono intrappolati sul supporto adsorbente. Il campionatore viene esposto per un periodo di tempo stabilito dalle specifiche tecniche del campionatore stesso. Alla fine del campionamento i COV vengono desorbiti dal supporto e trasferiti a un sistema gascromatografico per la determinazione analitica.

L'opportunità di utilizzare tale metodo è da verificarsi in relazione ai livelli di concentrazione dei COV di interesse. Infatti, questo tipo di campionamento dipende dal materiale adsorbente, dalla durata e dalla portata di campionamento e dalla sensibilità strumentale per l'analisi del campione ed è generalmente appropriato per concentrazioni, per singolo composto, a partire da $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le caratteristiche dei materiali adsorbenti devono essere conformi a quanto specificato nella norma UNI EN ISO 16017-2 (22) e nella UNI EN 14662-5 (41).

La portata di campionamento, preliminarmente determinata o indicata dal produttore, dipende dalla temperatura misurata durante il campionamento e dal tipo di COV indagato.

Anche per il campionamento passivo, terminata la fase di campionamento il supporto adsorbente deve essere richiuso con gli appositi tappi e conservato in contenitori di vetro o metallo in sistemi refrigerati mantenuti a temperatura controllata fino al momento dell'analisi. Tale condizione deve essere soddisfatta anche durante il trasporto.

2.1.3. Campionamento mediante *canister*

I *canister* sono contenitori in acciaio inox con volume variabile da 400 mL a 15 L, sottoposti a processo di elettropassivazione per ridurre la presenza di siti polari chimicamente attivi e successivamente inertizzati mediante il rivestimento della superficie interna con uno strato sottile di silice chimicamente legata, per ridurre la probabilità di reazione dei COV tra di loro e con la superficie stessa.

Prima di ogni campionamento, i *canister* devono essere sottoposti a scrupolosa pulizia per evitare ogni contaminazione del campione prelevato. La procedura di pulizia consiste in diversi cicli di depressurizzazione/pressurizzazione con aria o azoto ultrapuri. In base ai risultati di controllo analitico può essere necessario ripetere più volte i cicli di depressurizzazione/pressurizzazione.

Il *canister* è considerato pulito se le concentrazioni dei composti target sono inferiori a 0,02 ppbv per la maggior parte dei composti a eccezione dei composti più leggeri (etano ed etilene), per i quali i limiti di concentrazione sono stati fissati a 0,10 ppbv.

Il *canister* posto sottovuoto spinto è pronto per il campionamento, che può essere istantaneo o mediato. Il campionamento istantaneo si esegue semplicemente mediante apertura della valvola posta a chiusura del *canister*, mentre quello "mediato" si realizza applicando un orifizio tarato in corrispondenza dell'apertura del *canister*. La durata del campionamento "mediato" può variare da mezz'ora fino a qualche giorno, in funzione della sezione dell'orifizio selezionato, avendo già predefinito il volume del *canister* utilizzato.

I campioni contenenti i COV di interesse possono essere conservati per più giorni senza significative alterazioni.

Con questi dispositivi si usano comunemente due tecniche di campionamento: passivo e attivo, che si distinguono rispettivamente per l'assenza o per l'uso di un dispositivo di pompaggio in grado di mantenere un flusso costante di campionamento al crescere della pressurizzazione del *canister* (21).

2.2. Tecniche analitiche

2.2.1. Desorbimento termico - principio del metodo

2.2.1.1. Tubi di adsorbimento

I COV campionati vengono desorbiti termicamente con un trasferimento dei vapori tramite un flusso di gas inerte (elio ultrapuro) direttamente al gascromatografo che può essere equipaggiato con i seguenti rivelatori: rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID), rivelatore a fotoionizzazione (PID), spettrometro di massa o altro rivelatore idoneo.

Poiché il campione desorbito dal tubo occupa un volume di diversi millilitri, è essenziale prima dell'analisi gascromatografica che venga eseguita una concentrazione dei COV mediante il passaggio in una trappola di condensazione raffreddata con un circuito criogenico alimentato da CO₂ o N₂ liquido.

Le condizioni operative sono di seguito riportate:

- temperatura di desorbimento dei tubi: tra i 250°C e i 325°C (la temperatura dipende dall'adsorbente e dalla natura dei COV indagati);
- tempo di desorbimento: 5-15 min;
- portata di desorbimento: 30-50 mL/min.

I COV concentrati nella trappola di condensazione verranno desorbiti termicamente e trasferiti al sistema analitico utilizzando una temperatura di desorbimento della trappola nel range 250-350°C.

Per le condizioni operative sopra riportate e per il calcolo della concentrazione dell'analita nell'aria campionata, vedasi la norma UNI EN ISO 16017 (20, 22).

2.2.1.2. Canister

Un volume noto di aria campione (100-1000 mL) viene introdotto in un sistema di pre-concentrazione raffreddato mediante un circuito criogenico alimentato con CO₂ o N₂ liquido. Si procede quindi al desorbimento dal sistema di pre-concentrazione e successivamente i COV vengono trasferiti alla trappola di condensazione (criofocalizzatore) seguendo le indicazioni già riportate al punto 2.2.1.1. E da valutare una possibile interferenza nell'analisi dell'umidità presente nel campione.

Per il calcolo della concentrazione dell'analita nell'aria campionata, si può utilizzare quanto riportato nella norma ASTM D – 5466 (48).

2.2.1.3. Desorbimento con solvente

La determinazione dei COV tramite desorbimento con solvente viene effettuata sotto cappa rimuovendo e scartando preventivamente i setti porosi e trasferendo quantitativamente l'adsorbente delle due sezioni (analitica e testimone) in due contenitori entrambi dotati di tappo a vite munito di membrana in politetrafluoroetilene (PTFE), chiudendo immediatamente.

Successivamente si esegue l'estrazione mediante l'aggiunta di un opportuno volume di solfuro di carbonio per analisi agitando saltuariamente per circa 30 minuti come da procedura di riferimento descritta nel metodo normalizzato UNI EN 14662-5 (41). Tale metodo è stato sviluppato e validato per la misurazione del benzene in aria ambiente. Esso necessita quindi di essere adattato alle determinazioni in ambiente *indoor*.

Successivamente viene effettuato il trasferimento di aliquote della soluzione proveniente dal desorbimento della sezione analitica al gascromatografo.

3. TECNICHE DI CAMPIONAMENTO E DI ANALISI PER LA FORMALDEIDE E ALTRI COMPOSTI CARBONILICI

3.1. Campionamento

La formaldeide e altri composti carbonilici (49), oggetto di questo capitolo, pur appartenendo alla classe dei COV, a causa della loro volatilità e della loro reattività, non possono essere determinati con le medesime metodologie descritte nel capitolo 2.

In relazione agli obiettivi del monitoraggio possono essere pianificati campionamenti a breve termine, generalmente realizzati con un campionamento attivo su cartucce adsorbenti (chemiadsorbenti), e campionamenti a lungo termine, generalmente condotti con campionatori diffusivi utilizzando una cartuccia rivestita con una sostanza chemiadsorbente (50).

3.1.1. Campionamento attivo con cartucce chemiadsorbenti

Il campionamento su cartucce chemiadsorbenti, viene effettuato utilizzando sistemi di prelievo dell'aria mediante aspirazione con pompa opportunamente calibrata il cui flusso prefissato deve essere costante per tutta la durata del campionamento.

La procedura di campionamento prevede che un volume noto di aria campione venga fatto passare attraverso una cartuccia acidificata di gel di silice rivestita con 2,4-dinitrofenilidrazina (DNPH).

Il principio del metodo si basa su una specifica reazione del gruppo carbonilico con la DNPH in presenza di un acido per formare un derivato idrazonico stabile in base alla seguente reazione (Figura 6):

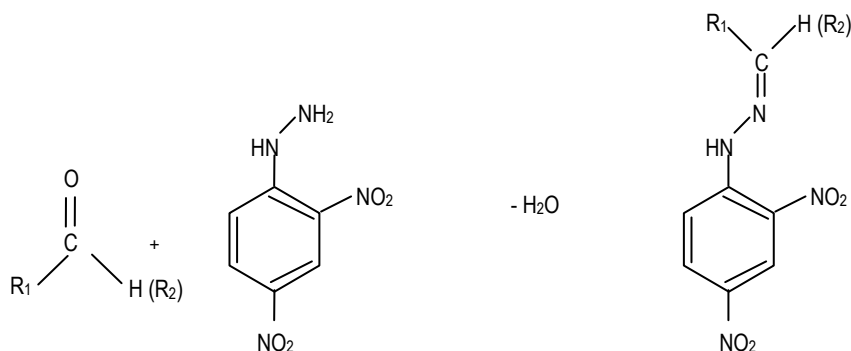


Figura 6. Reazione del gruppo carbonilico con la DNPH in presenza di un acido

Gli idrazoni così prodotti vengono estratti in acetonitrile per essere quantificati con un cromatografo HPLC. Questa metodologia può essere utilizzata per la formaldeide e altri composti carbonilici esclusi quelli a lunga catena e insaturi.

Di seguito sono elencati i composti ai quali è applicabile: Acetaldeide, Acetone, Benzaldeide, Aldeide butirrica, Aldeide capronica, Aldeide Isovalerica, Aldeide Valerica, Propionaldeide, m-Tolualdeide, o-Tolualdeide, p-Tolualdeide, 2,5-dimetilbenzaldeide.

L'opportunità di utilizzare tale metodo è da verificarsi in relazione alle concentrazioni di formaldeide e di altri composti carbonilici in aria *indoor*.

La scelta di questo tipo di campionamento dipende dai tempi, dai volumi di prelievo, dalle prestazioni della strumentazione di cui si dispone per l'analisi del campione.

Al fine di evitare le interferenze che si possono verificare a causa della presenza di NO₂ e O₃ si posiziona a monte della cartuccia adsorbente un *denuder* o un sistema di rimozione di tali gas (*scrubber*). In particolare l'O₃ ad alte concentrazioni interferisce reagendo con la DNPH e con l'idrazone formato. L'entità dell'interferenza dipende dalle concentrazioni dell'ozono e della formaldeide e dalle loro variazioni durante il periodo di campionamento.

Particolare attenzione deve essere posta nella fase di campionamento in quanto la cartuccia non deve essere esposta direttamente alla luce solare per evitare la formazione di artefatti.

Terminata la fase di campionamento i tubi devono essere richiusi con gli appositi tappi e conservati in contenitori di vetro o metallo in sistemi refrigerati mantenuti a temperatura controllata. Tale condizione deve essere soddisfatta anche durante il trasporto.

I campioni devono essere analizzati entro 30 giorni.

3.1.2. Campionamento diffusivo (passivo)

Il campionamento passivo della formaldeide viene condotto esponendo un campionatore diffusivo contenente una cartuccia di gel di silice rivestita anch'essa da una sostanza chemiadsorbente, la 2,4-dinitrofenilidrazina (DNPH) (50). Tale metodologia risulta particolarmente conveniente per monitoraggi a lungo termine. Anche questa metodologia può essere estesa ad altri composti carbonilici esclusi quelli a lunga catena e insaturi (ISO 16000-3: 2011).

Il supporto viene collocato all'interno di un sistema diffusivo. La formaldeide, attraversato il diffusore, reagisce con la DNPH producendo il corrispondente idrazone. Il sistema di campionamento viene esposto per un periodo di tempo noto. Alla fine del campionamento gli idrazoni così prodotti vengono estratti in acetonitrile per essere quantificati con un cromatografo HPLC.

L'opportunità di utilizzare tale metodo è da verificarsi in relazione alle concentrazioni di formaldeide *indoor*.

La scelta di questo tipo di campionamento dipende dai tempi, dai volumi di prelievo, dalle prestazioni della strumentazione di cui si dispone per l'analisi del campione.

Terminata la fase di campionamento i tubi devono essere richiusi con gli appositi tappi e conservati in contenitori di vetro o metallo in sistemi refrigerati mantenuti a temperatura controllata. Tale condizione deve essere soddisfatta anche durante il trasporto.

I campioni dovrebbero essere analizzati entro 30 giorni.

3.2. Tecniche analitiche

La determinazione della formaldeide avviene per analisi del corrispondente derivato dinitrofenilidrazone per HPLC utilizzando le seguenti condizioni operative di analisi:

- colonna: C18;
- fase mobile metanolo/acqua o acetonitrile/acqua in proporzioni opportune da ottimizzare caso per caso;
- rivelatore: UV a 360 nm;
- velocità di flusso: 1 mL/min;
- volume di iniezione del campione: 25 µL.

Per la determinazione delle altre aldeidi e chetoni, l'analisi dei relativi dinitrofenilidrazoni necessita dell'ottimizzazione delle condizioni cromatografiche, utilizzando due colonne C18 in serie e variando la composizione della fase mobile mediante un programma in gradiente. Di seguito vengono indicate le tipiche condizioni operative di analisi:

- colonna: C18, due in serie;
- fase mobile: acetonitrile + acqua in gradiente lineare;
- rivelatore: UV a 360 nm;
- velocità di flusso: 1 mL/min;
- volume di iniezione del campione 25 µL.

Per il calcolo della concentrazione dell'analita nell'aria campionata si vedano le norme 16000-3, 16000-4 (52, 53).

APPENDICE A

Report delle informazioni da registrare durante i monitoraggi dell'aria *indoor*.

Risulta essere di estrema utilità per la successiva valutazione dei risultati documentare le condizioni dettagliate di campionamento. Il seguente documento elenca le informazioni che possono risultare utili. Se necessario, alcune parti dello schema seguente possono essere omesse o nuove informazioni possono essere aggiunte.

A - INFORMAZIONI SUL CAMPIONE

A1- Numero di campione:
 A2- Inquinanti monitorati:
 A3- Indirizzo:
 A4- Motivazioni delle misure:

B - TIPO E PERIODO DI CAMPIONAMENTO

B1 - Periodo di campionamento

Inizio data: Fine data: Ora:
 Inizio data: Fine e data: Ora:
 Fine e data: Totale ore campionate:

B2 - Condizioni di ventilazione esterna prima del campionamento

Temperatura media esterna:°C
 Velocità del vento media:m/s
 Umidità relativa media:%
 Pioggia [] sì [] no
 Copertura di neve [] sì [] no

B3 - Tipo di campionamento

[] Automatico/continuo
 [] campionamento attivo
 [] campionamento passivo

C - LOCAZIONE DEL CAMPIONAMENTO

C1 - Tipo di edificio/Attività e utilizzo

[] Edifici residenziali
 [] Scuole/asili
 [] Uffici pubblici
 [] Residenze in prefabbricati
 [] Palestre
 [] Ospedali
 [] Magazzini/negozi
 [] Biblioteche
 [] altri edifici (specificare).....

C2 - Età dell'edificio

- ☐ < 6 mesi
☐ < 2 anni
☐ < 10 anni
☐ da 10 a 20 anni
☐ > 20 anni

C3 - Tipo di area

- ☐ rurale
☐ urbano (suburbano)
☐ urbano (centro)
☐ area industriale
☐ altre tipologie

C4 - Caratteristiche dell'area

- ☐ traffico leggero
☐ traffico pesante
☐ tipologia di industria:
 pesante:
 chimica
 piccola scala
 distanza:
☐ suoli inquinati

D - CARATTERISTICHE DELLE STANZE E CONDIZIONI

Superficie della stanzam²
 Altezzam
 Piano ☐ terra
 ☐ piano

D1 - Pareti e pavimento

- ☐ carta da parati
☐ rivestimento in plastica delle pareti
☐ stucco
☐ pannelli rivestiti
☐ pannelli in legno
☐ pavimento moquette
 Delimitata? ☐ sì ☐ no
 Età:anni
☐ pavimento con piastrelle
☐ pavimento in cotto
☐ altro (specificare).....

D2 - Ristrutturazione

- ☐ Ristrutturazioni negli ultimi 3 mesi
 Cosa è stato ristrutturato?.....
☐ Altri cambiamenti nella stanza o nelle sue immediate vicinanze (per esempio nelle aree attigue)
 negli ultimi tre mesi?
 Quali sono stati?.....

D3 - Nuovo arredamento negli ultimi tre mesi

☐ sì ☐ no

D4 - Danni da acqua

☐ sì ☐ no

Quando:

Tipo di danno:

Ubicazione:

Risistemato?

☐ sì ☐ no

Quando?

D5 - Muffe visibili

☐ sì ☐ no

Descrizione.....

D6 - Riscaldamento

☐ Stanze in case private

☐ Cucina

Fornello alimentato con:.....

☐ Soggiorno

☐ Camera da letto

☐ Ufficio

☐ Aula

☐ Altre stanze: quali?

Tipo di riscaldamento:

☐ Riscaldamento centralizzato

☐ Termosifone

☐ Riscaldamento a pavimento

☐ Aria calda

☐ Stufa

☐ Altro

Tipo di combustibile per riscaldamento

☐ gas

☐ elettricità

☐ altro (specificare).....

D7 - Posizione della stanza campionata nell'edificio

☐ stanza interna senza finestre

☐ stanza conmuri esterni diretti a

Le finestre sono orientate a:

☐ sud

☐ nord

☐ ovest

☐ est

La stanza è orientata a

D8 - Locazione dei dispositivi di campionamento

Distanza dal muro:m

Altezza dal pavimento:m

D9 - Stanza con finestre apribili

Tipo di finestra:

☐ singola

☐ finestra con vetri isolati

L'isolamento delle finestre è:

☐ buono

☐ scarso

D10 - Stato della ventilazione prima del prelievo

☐ stanza completamente ventilata

Tempo:min

☐ finestre e porte chiuse

Tempo:h

☐ ventilazione utilizzata normalmente dagli occupanti

D11 - Stanza con ventilazione e sistema di aria condizionata

☐ in funzione perh

☐ spento perh

D12 - Informazioni sulla ventilazione e aria condizionata

Il sistema è dotato di umidificazione

☐ vapore

☐ spray

☐ Il sistema è operativo con% di ricircolo

☐ La data dell'ultima manutenzione del sistema.....

☐ totale

☐ parziale

E - CLIMA DELLA STANZA E VENTILAZIONE DURANTE IL CAMPIONAMENTO

E1 - Stanza con finestre apribili

☐ finestre e porte chiuse

☐ ventilazione utilizzata normalmente dagli occupanti

E2 - Stanza con ventilazione e aria condizionata

☐ Condizionatore in funzionamento

☐ Condizionatore spento

E3 - Parametri microclimatici dell'aria *indoor*

☐ temperatura media della stanza° C

☐ umidità relativa media della stanza%

F - ATTIVITÀ DEGLI OCCUPANTI

F1- Numero di persone

Nel normale utilizzo della stanza:persone

Durante il campionamento/prelievo,persone sono permanentemente in stanza

Animali:

F2 - Fumo di sigaretta

☐ stanza in cui non si può fumare

☐ stanza in cui si può fumare

Quantità di tabacco media consumata nella stanza per giorno:

.....sigarette/sigari/pipe

☐ Si è fumato nella stanza prima di cominciare le misure:

☐ regolarmente

☐ saltuariamente

Cosa?.....

Quanto?

A quando risale l'ultima volta?.....

☐ Nella stanza vicina

☐ Si è fumato durante le misure

☐ Cosa?

☐ Quanto?

F3 - Prodotti usati nella stanza

☐ Pulizia del pavimento

Nome delle marche dei prodotti di pulizia utilizzati

☐ raramente

☐ frequentemente

☐ Trattamenti del pavimento

Tipo di trattamento effettuato

Quando?

☐ Pulizia e trattamento dell'arredamento

Nome delle marche dei prodotti di pulizia utilizzati

☐ raramente

☐ frequentemente

☐ Pulizia delle finestre

Nome delle marche dei prodotti di pulizia utilizzati

☐ raramente

☐ frequentemente

☐ Purificatori dell'aria

Nome delle marche dei prodotti utilizzati

☐ raramente

☐ frequentemente

☐ Eliminazione insetti

Nome delle marche dei prodotti utilizzati

☐ raramente

☐ frequentemente

☐ Altro

APPENDICE B

Elenco dei principali COV che possono essere presenti negli ambienti *indoor*

Tabella B1. Elenco dei COV rilevabili negli ambienti *indoor*

Composto chimico	CAS numbers	Punto di ebollizione °C ^(a)	Pressione di vapore mmHg ^(a)
Idrocarburi aromatici			
Benzene	71-43-2	80	76
Clorobenzene	108-90-7	132	8,8
Cloruro di benzile	27987-13-9	179	1
1,2,4-Triclorobenzene	95-63-6	213	0,18
1,4-Diclorobenzene	106-46-7	173	0,6
Nitrobenzene	98-95-3	211	0,15
Toluene	108-88-3	110	21,8
Etilbenzene	100-41-4	136	7
m-Xilene	108-38-3	139	6
p-Xilene	106-42-3	138	6,5
o-Xilene	95-47-6	144	5
n-Propilbenzene	103-65-1	159	2,26
1,2,4-Trimetilbenzene	95-63-6	169	1,13-1,50
1,3,5-Trimetilbenzene	108-67-8	165	1,13-1,50
2-Etiltoluene	611-14-3	165	3,01
Stirene	100-42-5	145	6,6
Naftalene	91-20-3	218	0,08
Metilnaftalene	90-12-0	240-243	4,91
Anilina	62-53-3	184	0,67
N,N-Dimetilanilina	121-69-7	192	0,5
o-Cresolo	95-48-7	191	0,24
Catecolo	120-80-9	240	0,22
Fenolo	108-95-2	182	0,2
Cumene	98-82-8	153	3,2
4-Fenilcicloesene	31017-40-0	251	/
Idrocarburi alifatici			
n-Esano	110-54-3	69	120
n-Eptano	142-82-5	98	35,34
n-Ottano	111-65-9	126	10,53
n-Nonano	111-84-2	151	3,76
n-Decano	124-18-5	174	0,98
n-Undecano	1120-21-4	196	1,05
n-Dodecano	112-40-3	216	0,3
n-Tridecano	629-50-5	235	0,23
n-Tetradecano	629-59-4	253	0,01
n-Pentadecano	629-62-9	270	/
n-Esadecano	544-76-3	287	0,07
2-Metilpentano	107-83-5	60	120,3
3-Metilpentano	96-14-0	63	Ca. 120,3
1-Ottene	111-66-0	121	17,29
1-Decene	872-05-9	170	1,65
2,2,4-Trimetilpentano	540-84-1	99,2	40,6

segue

continua

Composto chimico	CAS numbers	Punto di ebollizione °C ^(a)	Pressione di vapore mmHg ^(a)
1,3-butadiene	106-99-0	-4,5	20
Isobutene	115-11-7	-7	1932,33 (20 °C)
Oceten-3-olo	3391-86-4	175	/
Cicloalcani			
Metilciclopentano	96-37-7	/	137,59
Cicloesano	110-82-7	81	95,49 (20 °C)
Metilcicloesano	108-81-2	101	43,08
Terpeni			
3-Carene	13466-78-9	167	/
a-Pinene	80-56-8	156	37,59
b-Pinene	18172-67-3	164	< 37,59
Limonene	138-86-3	170	1,43
Linalolo	78-70-6	198-199	0,17
Geraniolo	106-24-1	230	0,013
a-Terpeneolo	98-55-5	214-224	10,5
Alcoli			
Propanolo	71-23-8	96	3,23
Metanolo	67-56-1	65	92
Etanolo	64-17-5	78,4	43,08
2-Propanolo	67-63-0	82	240,60 (20 °C)
1-Butanolo	71-36-3	118	33,08
2-Etilsanolo	104-76-7	182	0,83 (20 °C)
Alcool benzilico	100-51-6	205	2,26 (20 °C)
Glicoli/eteri/eteri glicolici			
2-Metossietanolo	109-86-4	124-125	6,02
2-Etossietanolo	110-80-5	135	3,83
2-Butossietanolo	111-76-2	171	0,75
1-Metossi-2-propanolo	107-98-2	118	9,02 (20 °C)
2-Butossietossietanolo	112-34-5	231	0,02 (20 °C)
Clorometil metiletere	107-30-2	59	224
1,2-ossido di butilene		63	163
Metil-tert-butiletere	1634-04-4	55,2	249
Bis-clorometiletere	542-88-1	104	30
Bis(2-cloroetil)etere		178	0,71
2-Fenossietanolo	122-99-6	245	0,01 (20 °C)
Aldeidi			
Formaldeide	50-00-0	-19,5	27
Propionaldeide	123-38-6	49	235
Acetaldeide	75-07-0	21	952
Acroleina	107-02-8	52,5	220
Aldeide glutarica	111-30-8.	101	15
Aldeide crotonica		102,2	31,8
o-Tolualdeide	529-20-4	199-200	0,34
m-Tolualdeide		199	0,38
p-Tolualdeide		204-205	0,25
Metacroleina		69	121
Butanale	123-72-8	76	91,73 (20 °C)
Pentanale	110-62-3	103	25,56 (20 °C)
Esanale	66-25-1	129	26,32 (20 °C)

segue

continua

Composto chimico	CAS numbers	Punto di ebollizione °C ^(a)	Pressione di vapore mmHg ^(a)
Nonanale	124-19-6	190-192	0,36
Benzaldeide	100-52-7	179	0,98 (20 °C)
4-oxopentanal		70	/
Chetoni			
Metiletilchetone	78-93-3	80	77,44
Metilisobutilchetone	108-10-1	117	6
Cicloesanone	108-94-1	156	3,38
Acetofenone	98-86-2	202	1
3,5,5-Trimetil-2-cicloesen-1-one	78-59-1	215	0,38
Acetone	67-64-1	56,2	202,11 (22°C)
2-Butanone	78-93-3	79,6	77,5
6-metil-5-epten-2-one	110-93-0	171	/
Idrocarburi alogenati			
Clorometano	74-87-3	-23,7	38
Tricloroetene	79-01-6	87	20
Tetracloroetene	127-18-4	121	14
Cloroetano	75-00-3	12,5	10
Esacloroetano	67-72-1	/	0,4
Esaclorobutadiene	87-68-3	215	0,4
2-Cloro-1,3-butadiene	126-99-8	59,4	226
1,2-Dicloropropano	78-87-5	97	42
1,2-Dicloroetano	107-06-2	83,5	61,5
3-Cloropropene	107-05-1	44,5	340
1,1-Dicloroetano	75-34-3	57	230
Epicloridrina	106-89-8	117	12
1,1-Dicloroetene	75-35-4	31,7	500
Triclorometano	67-66-3	61,2	160
Cloroetene	75-01-4	-14	32
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	114	19
1,2-Dibromoetano	106-93-4	132	11
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	146	5
1,1,1-Tricloroetano	71-55-6	74	100
Pentaclorofenolo	87-86-5	/	/
Fosgene	75-44-5	8,2	1,2
Vinilbromuro	593-60-2	15,8	11
Iodometano	74-88-4	42,4	400
Tribromometano	75-25-2	149	5,6
Metilbromuro	74-83-9	3,6	18
Tetracloruro di carbonio	56-23-5	76,7	90
Diclorometano	75-09-2	40	349
1,3-Dicloropropene	542-75-6	112	27,8
1,2-Dibromo-3-cloropropano	96-12-8	196	0,8
1,4-Diclorobenzene	106-46-7	173	9,02
Esteri			
Etilacetato	141-78-6	77	72,93
Butilacetato	123-86-4	126	14,29
Isopropilacetato	108-21-4	85	47,37
Vinilacetato	108-05-4	72,2	83
Metossipropilacetato	108-65-6	145-146	/
2-Etossietilacetato	111-15-9	156	1,2

segue

continua

Composto chimico	CAS numbers	Punto di ebollizione °C ^(a)	Pressione di vapore mmHg ^(a)
Dimetilftalato	131-11-3	284	0,01
2,2,4-Trimetil-1,3-pentandiolmonoisobutirrato	25265-77-4	244	/
Metilmetacrilato	80-62-6	101	28
Etilacrilato	140-88-5	100	29,3
Beta-propiolattone	57-57-8	162	3,4
2,2,4-Trimetil-1,3-pentandioldiisobutirrato	6846-50-0	280	/
Altri			
2-Pentilfurano	3777-69-3	> 120	/
Tetraidrofurano	109-99-9	67	145,11 (20 °C)
2-Propennitrile	107-13-1	77,3	100
Nicotina	54-11-5	247	/
1,2-Propilenimmina	75-55-8	66	112
Trietilammina	121-44-8	89,5	54
Disolfuro di carbonio	75-15-0	46,5	260
Solfuro di carbonile	463-58-1	-50	37
Metilisocianato	624-83-9	59,6	348
1,1-Dimetilidrazina	540-73-8	63	157
Acetonitrile	75-05-8	82	74
Metilidrazina	60-34-4	87,8	49,6
Etilenimmina	151-56-4	56	160
2-Nitropropano	79-46-9	120	10
N-nitroso-N-metilurea	684-93-5	124	10
N-nitrosodimetilammina	62-75-9	152	3,7
Cloruro di N,N-dimetilcarbammide		166	4,9
Etilcarbammato	51-76-8	183	0,54
N,N-Dimetilformammide	98-12-2	153	2,7
N-Nitrosomorfolina	59-89-2	225	0,32
Acrilammide	79-06-1	125	0,53
Dietilsolfato	64-67-5	208	0,29
Dimetilsolfato	77-78-1	188	1
Diazometano	334-88-3	-23	28
Etanolammina	141-43-5	171	0,5
Ossidi			
Ossido di etilene	75-21-8	10,7	11
Ossido di stirene		194	0,3
Ossido di propilene	75-56-9	34,2	445
1,4-Diossano	123-91-1	101	37
Acidi			
Acido acrilico	79-10-7	141	3,2
Acido cloro acetico	79-11-8	189	0,69
Acido cresilico		202	0,26
Acido acetico	64-19-7	118	11,43
Acido esanoico	142-62-1	205	0,18
Acido per acetico	79-21-0	25	20,3

(a) I valori indicati possono risultare leggermente differenti a seconda del database utilizzato

APPENDICE C

Guida per la selezione degli adsorbenti- UNI EN ISO 16017-1: Campionamento e analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 1: Campionamento mediante aspirazione con pompa

In Tabella C1 sono riportate le indicazioni sul tipo di adsorbente da utilizzare per le classi dei principali composti organici volatili (COV).

Tabella C1. Caratteristiche dei principali adsorbenti da utilizzare per il campionamento dei composti organici volatili

Adsorbente del tubo di campionamento	Intervallo approssimativo di volatilità dell'analita	Temperatura massima °C	Area superficiale specifica m ² /g	Esempi di analiti
Carbotrap TM C Carbopack TM C	da n-C8 a n-C20	>400	12	Alchibenzene e alifatici di volatilità compresa tra n-C8 e n-C16.
Tenax TM TA	punto di ebollizione da 100 °C a 400 °C da n-C7 a n-C26	350	35	Componenti aromatici, non polari (punto di ebollizione >100 °C) e componenti polari meno volatili (punto di ebollizione >150 °C).
Tenax GR	punto di ebollizione da 100 °C a 450 °C da n-C7 a n-C30	350	35	Alchibenzene, IPA e PCB in fase di vapore e come sopra per Tenax TA.
Carbotrap Carbopack B Carbograph TD-1	da (n-C4) n-C5 a n-C14	>400	100	Ampia gamma di COV, compresi chetoni, alcoli e aldeidi (punto di ebollizione >75 °C) e tutti i composti non polari con intervallo di volatilità specificato. Più gas traccianti perfluorocarbonio.
Chromosorb TM 102	punto di ebollizione da 50 °C a 200 °C	250	350	Adatto ad un'ampia gamma di COV, inclusi i composti ossigenati e aloformi meno volatili del cloruro di metilene.
Chromosorb 106	punto di ebollizione da 50 °C a 200 °C	250	750	Adatto ad un'ampia gamma di COV, inclusi gli idrocarburi da n-C5 a n-C12. Valido anche per i composti ossigenati volatili.
Porapak TM Q	punto di ebollizione da 50 °C a 200 °C da n-C5 a n-C12	250	550	Adatto ad un'ampia gamma di COV, inclusi i composti ossigenati.
Porapak N	punto di ebollizione da 50 °C a 150 °C da n-C5 a n-C8	180	300	Specificamente selezionato per i nitrili volatili; acrilonitrile, acetoneitrile e propionitrile. Valido anche per piridina, alcoli volatili da EtOH, MEK, ecc.
Sphercarb ^{TM(a)}	da -30 °C a 150 °C da C3 a n-C8	>400	1200	Valido per i composti molto volatili come CVM, ossido di etilene, CS ₂ e CH ₂ Cl ₂ . Valido anche per i polari per esempio MeOH, EtOH e acetone.
Carbosieve TM S-III ^(a) o Carboxen TM 1000 ^(a)	da -60 °C a 80 °C	400	800	Valido per i composti ultra volatili come idrocarburi C3, C4, aloformi volatili e freon.
Setaccio molecolare ^(b)	da -60 °C a 80 °C	350		Utilizzato specificamente per 1,3-butadiene e ossido di azoto.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. WHO. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. Disponibile all'indirizzo: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf; ultima consultazione 8/3/2013.
2. Kotzias D, Koistinen K, Kephelopoulou S, Schlitt C, Carrer P, Maroni M. *Final report of the INDEX project, critical appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU*. 2005.
3. Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulou S, Schlitt C, Carrer P, Jantunen M, Kirchner S, McLaughlin J, Mølhave L, Fernandes E O, Seifert B. The INDEX project: Executive summary of a European Union project on indoor air pollutants (Review). *Allergy: European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2008;63(7):810-9.
4. Fanger OP. What is IAQ? *Indoor Air* 2006;16:328-34.
5. Italia. Accordo del 27 settembre 2001 tra il Ministro della Salute, le Regioni e le Province Autonome sul documento concernente: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati». *Gazzetta Ufficiale – Supplemento ordinario* n. 276 del 27 novembre 2001.
6. Künzli N, Oglesby L Air Pollution Exposure Distributions of Adult Urban Populations in Europe “EXPOLIS,” *Intermediate Scientific Report for the Federal Office for Education and Sciences (BBW)*. Basel: Switzerland, July 24 1997.
7. Bastone A, Soggiu ME, Vollono C, Viviano G, Masciocchi M, Rago G, Sellitri C, Spagnolo S, Spartera M. *Stili di vita e comportamenti delle popolazioni di Taranto, Massafra, Crispiano e Statte ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria ad inquinamento atmosferico*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2006. (Rapporti ISTISAN 06/36).
8. Santarsiero A, Fuselli S (Ed.), *Convegno nazionale. Inquinamento indoor residenziale-abitazione e qualità dell'aria. Riassunti*. Roma, 9 ottobre 2009. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2009. (ISTISAN Congressi 09/C7)
9. Sarigiannis DA, Karakitsios SP, Gotti A, Liakos IL, Katsoyiannis A. Exposure to major volatile organic compounds and carbonyls in European indoor environments and associated health risk. *Environmental International* 2011;37(4):743-65.
10. Wolkoff P. Volatile Organic Compounds Sources, Measurements, Emissions, and the Impact on Indoor Air Quality. *Indoor Air* 1995;5(S3):5-73.
11. Franchi M, Carrer P, Kotzias D, Rameckers EMAL, Seppänen O, Van Bronswijk JEMH, Viegi G, Gilder J A, Valovirta E. Working towards healthy air in dwellings in Europe. *European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 2006;61(7):864-8.
12. de Oliveira F, Gustafsson H, Seppänen O, Crump D, Ventura Silva G, Jantunen M, Carrer P. *EnVIE WP3 Final Report*. Disponibile all'indirizzo: <http://paginas.fe.up.pt/~envie/documents/finalreports/Final%20Reports%20Publishable/EnVIE%20WP3%20Final%20Report.pdf>; ultima consultazione 22/03/2013.
13. Geiss O, Giannopoulos G, Tirendi S, Barrero-Moreno J, Larsen BR, Kotzias D. The AIRMEX study - VOC measurements in public buildings and schools/kindergartens in eleven European cities: Statistical analysis of the data. *Atmospheric Environment* 2011;45(22):3676-84.
14. Salthammer T, Mentese S, Marutzky R. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews* 2010;110:2536-72.
15. IARC. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Review of Human Carcinogens. Volume 100 (Package of 6 volumes A,B,C,D,E,F)*. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2012.

16. UNI EN ISO 16000-2. *Aria in ambienti confinati. Parte 2: Strategia di campionamento per la formaldeide*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2007.
17. UNI EN ISO 16000-5. *Aria in ambienti confinati. Parte 5: Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC)*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
18. Bruno P, Caselli M, De Gennaro G, Iacobellis S, Tutino M. Monitoring of volatile organic compounds in non-residential indoor environments. *Indoor Air* 2008;18:250-6
19. UNI EN ISO 16000-1. *Aria in ambienti confinati. Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
20. UNI EN ISO 16017-1. *Aria in ambienti confinati, aria e ambiente ed aria in ambienti di lavoro. Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 1: Campionamento mediante aspirazione con pompa*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2002.
21. US Environmental Protection Agency. *Compendium Of Methods For The Determination Of Toxic Organic Compounds In Ambient Air-Second Edition Compendium Method To-15- Determination Of Volatile Organic Compounds (Vocs) In Air Collected In Specially Prepared Canisters And Analyzed By Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)*. Cincinnati: EPA; 1999.
22. UNI EN ISO 16017-1. *Aria in ambienti confinati, aria e ambiente ed aria in ambienti di lavoro. Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 2: Campionamento per diffusione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2004.
23. Wolkoff P, Schneider T, Kildeso J, Kildesøa J, Degerthb R, Jaroszewskic M, Schunkd H. Risk in cleaning: Chemical and physical exposure. *Science of total environment* 1998;215(1-2):135-56.
24. Nazaroff WW, Weschler CJ. Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmospheric Environment* 2004;38(18):2841-65
25. Gair AJ, Penkett SA. The effects of wind speed and turbulence on the performance of diffusion tube samplers. *Atmospheric Environment* 1995;29(18):2529-33.
26. Matthews TW, Thompson CV, Wilson DL, Hawthorne AR, Mage DT. Air velocities inside domestic environments: an important parameter for passive monitoring. In: Seifert B, *et al.* (Ed.) *Indoor air '87 - Proc. 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. Berlin; Inst. for Water, Soil and Air Hygiene 1987. pp. 174-8.
27. UNI EN ISO 16000-7. *Aria in ambienti confinati - Parte 7: Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2008.
28. UNI EN ISO 16000-9. *Aria in ambienti confinati - Parte 9: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti di costruzione e da prodotti di finitura – Metodo in camera di prova di emissione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
29. UNI EN ISO 16000-10. *Aria in ambienti confinati - Parte 10: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti di costruzione e da prodotti di finitura – Metodo in cella di prova di emissione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
30. UNI EN ISO 16000-11. *Aria in ambienti confinati - Parte 11: Determinazione delle emissioni di composti organici volatili da prodotti da costruzione e da prodotti di finitura - Campionamento, conservazione dei campioni e preparazione dei provini*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2006.
31. UNI EN ISO 16000-12. *Aria in ambienti confinati - Parte 12: Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA)*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2008.

32. UNI EN ISO 16000-15. *Aria in ambienti confinati - Parte 15: Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO₂)*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2008.
33. UNI EN ISO 16000-26. *Aria in ambienti confinati - Parte 26: Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO₂)*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2012.
34. UNI EN 13779. *Ventilazione degli edifici non residenziali - Requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2008.
35. UNI EN 14412. *Qualità dell'aria in ambienti confinati - Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e di vapori - Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2005
36. UNI EN 15242. *Ventilazione degli edifici - Metodi di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2008
37. UNI EN 15251. *Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2008.
38. European Collaborative Action. ECA. *Indoor Air and its Impact on man, Report No. 6, Strategy for sampling. Chemicals Substances in Indoor Air*. Brussels: Commission of the European Communities, Directorate General for Science, Research and Development Joint Research Centre - Institute for the Environment; 1989.
39. Martin NA, Leming EJ, Henderson MH, Lipscombe RP, Black JK, Jarvis SD. Verification of diffusive and pumped samplers for volatile organic compounds using a controlled atmosphere test facility. *Atmospheric Environment* 2010;44(28):3378-85.
40. UNI EN 14662-5. *Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione delle concentrazioni di benzene - Parte 5: Campionamento diffusivo seguito da desorbimento con solvente e gascromatografia*. Milano: Ente Nazionale Italiano di Unificazione; 2007.
41. ISO 16000-6. *Indoor air - Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID*. Geneva: International Organization for Standardization; 2004.
42. Cohen MA, Ryan PB, Yanagisawa Y, Hammond SK. The validation of a passive sampler for indoor and outdoor concentrations of volatile organic compound. *Journal of the Air & Waste Management* 1990;40:993-7.
43. Brown VM, Crump DR, Gardiner D, Yu CWF. Long-term diffusive sampling of volatile organic compounds in indoor air. *Environmental Technology* 1993;14:771-7.
44. Angiuli L, Bruno P, Caputi M, Caselli M, De Gennaro G, De Rienzo M. Radial passive samplers for air quality monitoring in field comparison with a BTEX automatic analyser preliminary results. *Fresenius Environmental Bulletin* 2003;12(10):1167-72.
45. Brown Rh. Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations. *Journal of Environmental Monitoring* 2000;2(1):1-9.
46. Brooks Mason J, Fujita EM; Campbell DE; Zielinska B. Evaluation of Passive Samplers for Assessment of Community Exposure to Toxic Air Contaminants and Related Pollutants. *Environmental Science and Technology* 2011;45(6):2243-49.
47. Bruno P, Caputi M, Caselli M, De Gennaro G, De Rienzo M. Reliability of a BTEX radial diffusive sampler for thermal desorption: Field measurements. *Atmospheric Environment* 2005;39(7): 1347-55.
48. American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM D5466 - 01(2007) - Standard Test Method for Determination of Volatile Organic Chemicals in Atmospheres (Canister Sampling Methodology)*. West Conshohocken; 2007.
49. Salthammer T, Mentese S, Marutzky R. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews* 2010;110:2536-72.

50. Noble JS, Strang CR, Michael PR. A comparison of active and passive sampling devices for full-shift and short-term monitoring of formaldehyde. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1993;54(12):723-32.
51. Levin JO, Lindhal R, Andersson K. Monitoring of parts-per-billion levels of formaldehyde using a diffusive sampler. *Journal of the Air Pollution Control Association* 1989;39:44-7.
52. ISO 16000-3. *Indoor air - Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air — Active sampling method*. Geneva: International Organization for Standardization; 2011.
53. ISO 16000-4. *Indoor air - Part 4. Determination of formaldehyde — Diffusive sampling method*. Geneva: International Organization for Standardization; 2004.