



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

ELEMENTI METODOLOGICI PER UNA VALUTAZIONE MULTISORGENTE DELL'ESPOSIZIONE A INQUINANTI CHIMICI IN AMBIENTI INDOOR IN AREE DI PARTICOLARE RILEVANZA AMBIENTALE

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 09.05.2019. Doc.n.56/19





Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

ELEMENTI METODOLOGICI PER UNA VALUTAZIONE MULTISORGENTE DELL'ESPOSIZIONE A INQUINANTI CHIMICI IN AMBIENTI INDOOR IN AREE DI PARTICOLARE RILEVANZA AMBIENTALE

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 09.05.2019. Doc.n.56/19

REPORT DI SISTEMA SNPA | 12 2020

ISBN 978-88-448-1042-9 | Roma, marzo 2021

Il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della Legge 28 giugno 2016, n.132 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale".

Esso costituisce un vero e proprio Sistema a rete che fonde in una nuova identità quelle che erano le singole componenti del preesistente Sistema delle Agenzie Ambientali, che coinvolgeva le 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA), oltre a ISPRA.

La legge attribuisce al nuovo soggetto compiti fondamentali quali attività ispettive nell'ambito delle funzioni di controllo ambientale, monitoraggio dello stato dell'ambiente, controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento, attività di ricerca finalizzata a sostegno delle proprie funzioni, supporto tecnico-scientifico alle attività degli enti statali, regionali e locali che hanno compiti di amministrazione attiva in campo ambientale, raccolta, organizzazione e diffusione dei dati ambientali che, unitamente alle informazioni statistiche derivanti dalle predette attività, costituiranno riferimento tecnico ufficiale da utilizzare ai fini delle attività di competenza della pubblica amministrazione.

Attraverso il Consiglio del SNPA, il Sistema esprime il proprio parere vincolante sui provvedimenti del Governo di natura tecnica in materia ambientale e segnala al MATM e alla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano l'opportunità di interventi, anche legislativi, ai fini del perseguimento degli obiettivi istituzionali. Tale attività si esplica anche attraverso la produzione di documenti, prevalentemente Linee Guida o Report, pubblicati sul sito del Sistema SNPA e le persone che agiscono per suo conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in queste pubblicazioni.

Citare questo documento come segue:

L.Sinisi/ F.De Maio

"Elementi metodologici per una valutazione multisorgente dell'esposizione a inquinanti chimici in ambienti indoor in aree di particolare rilevanza ambientale. Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 09.05.2019. Doc.n.56/19". Report SNPA, 12/2020

ISBN 978-88-448-1042-9

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Coordinamento della pubblicazione online:

Daria Mazzella – ISPRA

Grafica di copertina:

Sonia Poponessi - Ufficio grafica ISPRA

Foto di copertina: archivio ISPRA

mese marzo 2021

Abstract

Il report ha lo scopo di definire elementi di background metodologici per una valutazione multisorgente dell'esposizione a inquinanti chimici in ambienti indoor in aree di particolare rilevanza ambientale a forte pressione industriale, dove l'intrusione di inquinanti dall'aria atmosferica o dal sottosuolo può determinare l'esposizione ad inquinanti atmosferici pericolosi, in abitazioni, scuole, edifici non industriali presenti nell'area.

Parole chiave: inquinamento indoor, esposizione multisorgente, siti contaminati

SOMMARIO

INTRODUZIONE E NOTE DI BACKGROUND	6
1. GLI INQUINANTI CHIMICI IN ARIA INDOOR: ASPETTI DI GOVERNANCE E ESPERIENZE PROGETTUALI....	9
INTRODUZIONE	9
1.1 GLI INQUINANTI CHIMICI IN ARIA INDOOR: SINTESI DELLE PRINCIPALI INIZIATIVE NELL'ESPERIENZA INTERNAZIONALE, EUROPEA E NAZIONALE.....	9
1.2 L'INDOOR NELLE ATTIVITÀ DELL'ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ E DI ISPRA	18
1.3 L'ARIA INDOOR NELLE ATTIVITÀ DELLE AGENZIE AMBIENTALI	22
Bibliografia	25
2. ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE MULTISORGENTE DELL'ESPOSIZIONE AD INQUINANTI CHIMICI IN AMBIENTE INDOOR IN AREE A FORTE PRESSIONE AMBIENTALE	28
INTRODUZIONE.....	28
2.1 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ	31
2.2 ANALISI DELLE SORGENTI OUTDOOR	33
2.3 ANALISI DELL'INFILTRAZIONE INDOOR DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI	38
2.4 ANALISI DELLE SORGENTI INDOOR.....	45
2.5 METODI DI MISURA D'INQUINANTI CHIMICI IN AMBIENTE INDOOR.....	50
2.6 VALUTAZIONE DELLE ESPOSIZIONI IN AMBIENTE INDOOR	53
Bibliografia	57
3. VAPOUR INTRUSION DA SUOLO E FALDA: MODELLI UTILIZZABILI E CONDIZIONI AL CONTORNO	62
Bibliografia	72
4: CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI PER AZIONI FUTURE.....	73
ALLEGATO I - ESPERIENZE NAZIONALI SUL TEMA ARIA INDOOR: IL SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE.....	75
ALLEGATO II - NORME UNI EN E ISO PER GLI AMBIENTI INDOOR	86

A cura di Luciana Sinisi (ISPRA) e Gaetano Settimo (ISS)

Autori:

Cap. 1

Francesca De Maio (ISPRA), Gaetano Settimo (ISS) e
Luciana Sinisi (ISPRA)

Cap. 2

Marco Baldini (ARPA Marche), Annalisa Marzocca
(ARPA Puglia), Gaetano Settimo (ISS), Luciana Sinisi
(ISPRA), Stefano Zauli (ARPAE Emilia Romagna)

Cap. 3

Marco Falconi (ISPRA), Antonella Vecchio (ISPRA)

4. Conclusioni e considerazioni per attività future Luciana
Sinisi (ISPRA) e Gaetano Settimo (ISS)

ALLEGATO I “Esperienze nazionali su aria indoor nel
sistema nazionale per la protezione dell’ambiente” A
cura di Silvia Brini (ISPRA), Giuliana Giardi (ISPRA),
Arianna Lepore (ISPRA) e Jessica Tuscano (ISPRA)
ALLEGATO 2 – Norme UNI EN e ISO per gli ambienti
indoor

INTRODUZIONE E NOTE DI BACKGROUND

A cura di *Luciana Sinisi (ISPRA)* e *Gaetano Settimo (ISS)*

A livello nazionale, europeo e internazionale, e in più documenti istituzionali e scientifici, è stata evidenziata la particolare valenza sanitaria dell'inquinamento chimico dell'aria indoor alla cui gestione del rischio sono chiamate in causa, in particolare per gli aspetti di prevenzione e gestione del rischio, anche le politiche di tutela e sostenibilità ambientale, innovazione tecnologica, gestione energetica, e in generale, dei settori produttivi.

Gli inquinanti dell'aria indoor possono essere di natura fisica, biologica e chimica. Con particolare riferimento a

quest'ultimi la qualità dell'aria in ambiente indoor è condizionata da molti fattori tra loro sinergici, che possono dipendere: da sorgenti emissive inquinanti indoor (emissioni di COV da materiali, arredi e uso di prodotti di consumo); dalle caratteristiche degli edifici (es. ventilazione/aerazione); da infiltrazione di inquinanti aeriformi da sorgenti outdoor atmosferiche (emissioni da traffico, industriali, etc), o dal sottosuolo (*vapour intrusion*). (Fig.1)

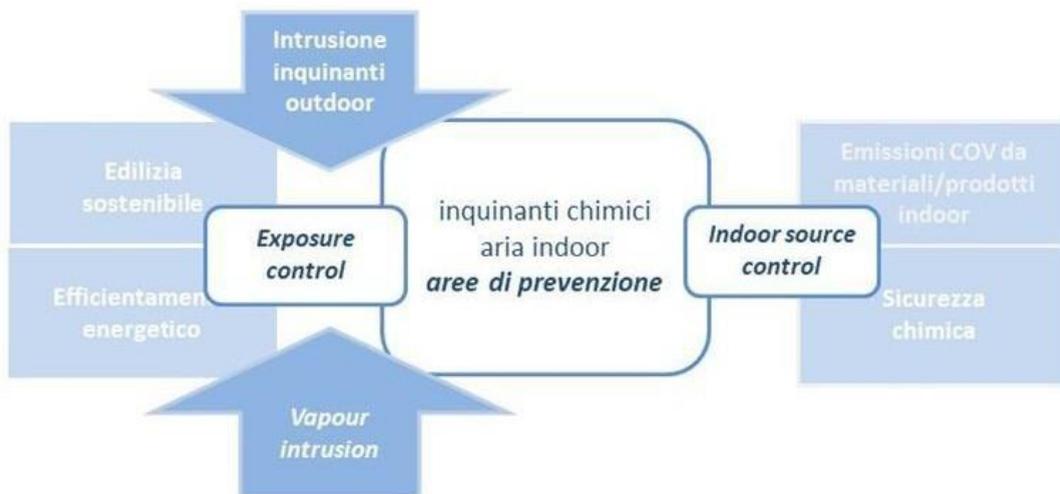


Fig.1 Aria indoor: aree di prevenzione per le policy ambientali e di sostenibilità (L. Sinisi, ISPRA).

A queste ultime due condizioni faranno prevalentemente riferimento le trattazioni tecniche di questo lavoro che si pone il fine di definire elementi di *background* metodologici per una valutazione multisorgente dell'esposizione a inquinanti chimici in ambienti indoor in aree di particolare rilevanza ambientale.

Il focus dell'incarico del Consiglio del Sistema delle Agenzie ambientali al GdL Salute e Ambiente SNPA (che ha visto anche la collaborazione di esperti dell'Istituto Superiore di Sanità) ad elaborare questo rapporto deriva proprio dall'esperienza vissuta dalle Agenzie in contesti ambientali a forte pressione antropica industriale, dove l'intrusione di inquinanti dall'aria atmosferica o dal sottosuolo poteva determinare condizione di esposizione ad inquinanti pericolosi presenti nell'aria di case o scuole, o di altri edifici non industriali insistenti sulla stessa area, ovvero nell'ambiente dove, secondo ormai una visione condivisa, passiamo oltre l'80% del nostro tempo e che può ospitare soggetti particolarmente vulnerabili ai rischi ambientali, come bambini, anziani, allergici, asmatici o malati cronici affetti da patologie cardiorespiratorie.

Il Rapporto comunque, non in ultimo, vuole promuovere anche una riflessione generale sul tema aria indoor e sul potenziale ruolo SNPA a supporto delle policy ambientali e di sostenibilità rappresentate nella Fig.1 nella consapevolezza che la risposta dei sistemi di prevenzione dell'ambiente e della sanità devono spesso confrontarsi non solo con la complessità degli aspetti di governance, prevenzione, valutazione e gestione dei rischi da esposizione ad inquinanti indoor, (sinteticamente rappresentata nella breve panoramica delle esperienze internazionali, europee e nazionali riportate nel Capitolo 1), ma anche con una non diffusa familiarità dei propri operatori con i temi riguardanti l'ambiente costruito e i suoi rischi indoor.

L'esperienza in tema di qualità dell'aria indoor può, infatti, definirsi relativamente consolidata rispetto alla ricchezza d'iniziative ed esperienze professionali, approcci culturali, capacità tecnica, strumentale e organizzativa evolute negli ultimi 30 anni per comprendere, valutare e gestire i rischi propri dell'ambiente naturale da inquinamento di acqua, suolo

e aria atmosferica. La strada per una sua governance è lunga e complessa, anche se esistono significativi segnali di cambiamento e impegno in diversi Paesi, compreso il nostro.

Tuttavia, come spesso accade, la percezione del rischio dei cittadini verso i pericoli negli ambienti indoor viaggia a velocità diverse e, considerata l'assenza di una legislazione nazionale organica sugli inquinanti chimici in aria indoor, le risposte istituzionali sono prevalentemente collegate ad attività effettuate in contesti (e finanziamenti) specifici, spesso svincolate e non integrate con le altre attività di prevenzione ambientale di monitoraggio e valutazione del rischio. Questo è confermato anche nell'esperienza delle Agenzie ambientali degli ultimi anni, descritta e analizzata dall'indagine effettuata ad hoc per questo rapporto i cui risultati, considerata la trattazione estesa, sono stati riportati nell'Allegato 1 che va quindi considerato come parte integrante di questo documento.

Inoltre, come ben noto a chi vive sul campo le problematiche relative alle valutazioni dell'esposizione e del rischio in assenza di percorsi integrati disciplinati e le attività riguardanti la comunicazione e informazione alla popolazione, sono ancora più complesse quando riguardano aree a forte o critica pressione e contaminazione ambientale.

Su queste premesse si è costruito il core di questo rapporto, rappresentato nel Capitolo 2, dove sono presentati gli elementi di base per una valutazione dell'esposizione della popolazione che vive o lavora in ambienti dislocati in aree a forte pressione ambientale attraverso un percorso che preveda l'analisi di sorgenti outdoor e dell'infiltrazione di questi inquinanti atmosferici negli ambienti indoor e la caratterizzazione sito-specifica dell'ambiente indoor considerato. Oltre agli elementi per una valutazione dell'esposizione lo stesso capitolo offre, in un paragrafo dedicato, una proposta metodologica per la valutazione del rischio sanitario da inquinanti ambientali e, nel caso specifico, ai Composti Organici Volatili (COV) in aria indoor.

A completezza delle potenzialità operativa SNPA in tema di valutazione multisorgente dell'esposizione a inquinanti chimici in ambienti indoor, un capitolo a parte (Capitolo 3)

è dedicato al tema, ancora stimolante sotto il profilo tecnico, della valutazione dell'intrusione di vapori contaminati in ambienti indoor da suolo e falda, per come previsto dalla normativa vigente in tema di siti contaminati, e alla discussione sui modelli valutativi da usare sul campo.

L'auspicio è che le procedure qui trattate siano propedeutiche a specifiche attività per una futura definizione di metodologie condivise tra gli operatori ambientali e di sanità pubblica e che facciano parte del bagaglio formativo e operativo di chi, a vario titolo, è impegnato nelle diverse attività di monitoraggio, valutazione e gestione dei rischi ambientali specie nei contesti ambientali considerati.

1. GLI INQUINANTI CHIMICI IN ARIA INDOOR: ASPETTI DI GOVERNANCE ED ESPERIENZE PROGETTUALI

A cura di Francesca De Maio (ISPRA), Gaetano Settimo (ISS) e Luciana Sinisi (ISPRA)

INTRODUZIONE

Sebbene questo rapporto sia prevalentemente dedicato a un processo di costruzione di metodologie valutative dell'esposizione multisorgente a inquinanti chimici indoor, in contesti ambientali d'interesse per i sistemi di prevenzione di Ambiente e Sanità, si è ritenuto utile condividere anche elementi di inquadramento dell'intera "questione indoor" in cui questo esercizio va a collocarsi.

Una veduta d'insieme che, attraverso una sintetica panoramica di alcune esperienze e iniziative di organismi pubblici a livello internazionale, europeo e nazionale elaborata nei paragrafi che seguono, vuole evidenziare anche l'odierna strategicità delle attività relative all'indoor e, non in ultimo, stimolare alcune considerazioni per le azioni future in materia indoor nel nostro Paese.

Nella parte dedicate a un excursus di attività nazionali ci si è dedicati a quelle riguardanti le istituzioni che hanno partecipato a questo lavoro, ovvero, ISS, ISPRA e SNPA.

1.1 GLI INQUINANTI CHIMICI IN ARIA INDOOR: SINTESI DELLE PRINCIPALI INIZIATIVE NELL'ESPERIENZA INTERNAZIONALE, EUROPEA E NAZIONALE

L'aria indoor nell'esperienza dell'Agenzia per l'Ambiente USA

Da oltre vent'anni l'USEPA è tra le istituzioni leader in tema di qualità dell'aria indoor. Il portale EPA (<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>) offre un

panorama delle molteplici attività dell'Agenzia in tema indoor: informazioni tecnico scientifiche sui rischi indoor, linee guida e raccomandazioni, mappe di raccolta dati di monitoraggio indoor, materiali e informazioni multimediale per operatori pubblici e privati, cittadini e per la gestione in siti sensibili come le scuole. Ogni Ufficio regionale dell'USEPA ha la sua Unità indoor di riferimento.

L'EPA è membro del Comitato federale interagenzia statunitense sull'aria indoor istituito con atto del Congresso nel 1983 (*Federal Interagency Committee on Indoor Air Quality*)¹.

Le attività di USEPA si sono anche focalizzate sugli aspetti relativi all'interfaccia indoor ed efficientamento energetico degli edifici e all'uso di prodotti a bassa emissione di VOC coadiuvando i cittadini con linee guida ad hoc e per scelte di consumo ed energetiche sostenibili "rispettosi" dell'aria indoor. Attraverso varie partnership è il riferimento tecnico scientifico per marchi volontari quali Indoor airPLUS, rivolto sia a consumatori che costruttori, per la tutela della qualità dell'aria indoor in pratiche edilizie (incluso il retrofit energetico di edifici), prodotti di costruzione e, in generale di gestione di fonti e fattori di contaminazione indoor degli edifici o singole abitazioni incluso il radon (<https://www.epa.gov/indoorairplus>). Indoor airPLUS integra il marchio di certificazione energetica governativa ENERGY STAR® per i quali USEPA ha predisposto i requisiti tecnici.

In tema di interrelazioni tra cambiamenti climatici, aria indoor e rischi per la salute è l'EPA che finanziato il Rapporto "*Climate Change, Indoor Environment and Health*", 2011, uno studio di riferimento

¹<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/federal-interagency-committee-indoor-air-quality>

in materia a cui successivamente EPA ha dedicato un più ampio spazio informativo (e successivi studi) accessibili sul portale <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/climate-change-indoor-environment-and-health>.

Ancora più recentemente le informazioni e i materiali informativi si sono focalizzati anche sulla gestione dei rischi indoor nei risanamenti di territorio ed edifici post-alluvioni (<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/flood-cleanup-protect-indoor-air-quality>).

L'aria indoor e le linee guida dell'OMS

La problematica della qualità dell'aria indoor, e in particolare l'individuazione e valutazione delle sue implicazioni igienico-sanitarie, è tematica presente nelle attività più recenti dell'OMS che ha pubblicato, nell'ultimo decennio, diverse linee guida per la qualità dell'aria indoor con riferimento agli inquinanti di natura chimica, biologica e fisica (WHO 2009, 2010, 2014). Pur rimandando ai testi in bibliografia, in questo contesto verranno trattati e discussi gli aspetti relativi all'inquinamento dell'aria indoor da sostanze chimiche (WHO 2010).

Tali linee guida sono basate su valutazioni di rischio ritenute accettabili alla luce della complessiva evidenza scientifica disponibile, e forniscono dei livelli di concentrazione al di sotto dei quali l'esposizione per tutta la durata della vita (nel caso di cancerogeni), o per un determinato periodo di tempo negli altri casi, non costituiscono un rischio sanitario, ovvero praticamente nullo oppure ampiamente accettabile per l'uomo.

Per quanto riguarda le sostanze chimiche di particolare interesse igienico-sanitario l'OMS ha identificato sulla base delle attuali conoscenze, due liste d'inquinanti presenti negli ambienti indoor emessi dai diversi prodotti e materiali. Queste sostanze nelle linee guida sono state classificate in:

- Inquinanti "prioritari" come il benzene, biossido di azoto, idrocarburi policiclici aromatici (soprattutto benzo[a]pirene), naftalene, monossido di carbonio, radon, tricloroetilene e tetracloroetilene, per le quali sono stati

individuati valori guida sulla base dei numerosi studi condotti;

- Inquinanti d'interesse come l'acetaldeide, asbesto, biocidi, pesticidi, ritardanti di fiamma, glicol etere, esano, ossido nitrico, ftalati, ozono, toluene, stirene, xileni, per i quali non sono stati emanati valori guida, ma che per natura presentano un carattere di significativa pericolosità per la salute.

Nei documenti OMS relativi agli inquinanti chimici riconosciuti come cancerogeni o sospetti cancerogeni (es. benzene, benzo(a)pirene, tricloroetilene, ecc.), per i quali non esiste una soglia di sicurezza nota e quindi nessun livello di sicurezza può essere raccomandato, si fa riferimento alla stima di unità di rischio (unit risk), intesa come incremento di rischio di cancro per la durata della vita che si verifica in una ipotetica popolazione nella quale tutti i soggetti siano esposti continuamente, dalla nascita e per tutta la vita, ad una concentrazione di 1 µg/m³ dell'inquinante in questione (per il benzo(a)pirene 1 ng/m³).

livello comunitario le attività dell'OMS hanno indotto la Commissione UE a finanziare diversi studi sul tema della qualità dell'aria indoor per migliorare la comprensione delle complesse interazioni esistenti tra qualità dell'aria indoor e salute. L'Italia ha partecipato con i suoi esperti ad alcuni tra i principali Progetti Europei (vedi Tab.1).

L'aria indoor nell'esperienza della Commissione Europea

"Migliorare le basi scientifiche della politica ambientale" e il "proteggere i cittadini dell'Unione da pressioni e rischi d'ordine ambientale per la salute e il benessere" sono due dei nove obiettivi prioritari del Settimo Programma europeo d'azione per l'ambiente "Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta". Il Programma, che definisce un quadro generale per la politica ambientale fino al 2020, è basato sul principio di precauzione e di azione preventiva e su quello di riduzione dell'inquinamento alla fonte.

Nel 7° Programma quadro ambientale è sottolineata la visione integrata delle varie politiche interessanti sviluppo, composizione, produzione, vendita di sostanze

chimiche, inclusi i comuni prodotti di consumo, e delle politiche ambientali, con riguardo alla salvaguardia della salubrità ambientale per la popolazione.

“La trasformazione in un’economia verde inclusiva richiede l’integrazione degli aspetti ambientali in altre politiche, come l’energia, i trasporti, l’agricoltura, la pesca, gli scambi commerciali, l’economia e l’industria, la ricerca e l’innovazione, l’occupazione, lo sviluppo, gli affari esteri, la sicurezza, l’istruzione e la formazione, nonché la politica sociale e il turismo, in modo tale da dare vita a un approccio coerente e comune”.

“L’Unione si è prefissa di raggiungere, entro il 2020, l’obiettivo di produrre e utilizzare le sostanze chimiche in modo tale da contenere entro livelli minimi gli effetti nocivi rilevanti per la salute umana e l’ambiente.

L’integrazione ambientale in tutti i pertinenti settori politici è essenziale per allentare le pressioni sull’ambiente determinate dalle politiche e dalle attività condotte in altri settori e per il conseguimento degli obiettivi climatico - ambientali.”

Tra le azioni è previsto un esplicito riferimento all’ambiente indoor:

“sviluppare, entro il 2018, una strategia dell’Unione per un ambiente non tossico, [...] sulla base di misure orizzontali da intraprendere entro il 2015 con lo scopo di garantire: 1) la sicurezza dei nanomateriali di sintesi e dei materiali con proprietà simili; 2) la riduzione al minimo dell’esposizione ai perturbatori endocrini; 3) approcci normativi adeguati volti a contrastare gli effetti combinati delle sostanze chimiche e 4) la riduzione al minimo dell’esposizione alle sostanze chimiche contenute nei prodotti, ivi compresi i prodotti importati, nell’ottica di promuovere cicli di materiali non tossici e di ridurre l’esposizione a sostanze dannose in ambienti chiusi;”

Nella più recente **Raccomandazione UE 2016/1318 del 29 luglio 2016**, recante orientamenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero e delle migliori pratiche

per assicurare che, entro il 2020, tutti gli edifici di nuova costruzione siano a energia quasi zero e è confermata l’attenzione istituzionale su questi obiettivi strategici e l’avvio del processo d’inclusione della Indoor Air Quality (IAQ).

Infatti, viene stabilito nella Raccomandazione che a norma dell’articolo 4, paragrafo 1, i requisiti minimi devono tener conto delle condizioni climatiche generali degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi, come una ventilazione inadeguata. Per evitare il deterioramento della qualità dell’aria negli ambienti interni, del benessere e delle condizioni sanitarie del parco immobiliare europeo, il graduale inasprimento dei requisiti minimi di prestazione energetica derivante dall’attuazione in tutta Europa delle disposizioni relative agli edifici a energia quasi zero dovrebbe avvenire di pari passo con la messa in campo di strategie adeguate in materia di ambienti interni.

Le Strategie europee in tema di rischi per effetti combinati alle sostanze chimiche evidenziano la strategicità delle questioni correlate all’indoor (IAQ ed emissioni da prodotti). Il percorso iniziato nel 2009 a fronte dell’iniziativa del Consiglio Europeo, in particolare il Consiglio “Ambiente” sul tema degli “Effetti combinati delle sostanze chimiche”,² era in gran parte basato sui risultati di uno studio condotto dal Ministero dell’Ambiente e della sua Agenzia ambientale in merito all’esposizione dei bambini a miscele chimiche in forma di numerosi interferenti endocrini da fonti diverse (“*Survey and Health Assessment of the exposure of 2 year olds to chemical substances in consumer products*”). Le conclusioni dello studio sono riportate nel redazionale della successiva Comunicazione della Commissione al Consiglio Europeo (COM 2012(252) finale) sul tema degli effetti combinati delle sostanze chimiche di seguito riportata integralmente

² Conclusioni del Consiglio del 2009 “Effetti combinati delle sostanze chimiche”, 2988° sessione del Consiglio “Ambiente”, Bruxelles, 22 dicembre 2009.

Riquadro 1: Miscele cui sono esposte le popolazioni umane:

Nel 2009 le autorità danesi hanno pubblicato i risultati di uno studio³ relativo all'esposizione dei bambini di circa due anni alle miscele chimiche in forma di numerosi interferenti endocrini da fonti diverse. Lo studio esaminava **l'esposizione attraverso la catena alimentare, aria e la polvere in ambienti chiusi**, gli abiti e le calzature, il contatto con i giocattoli, l'applicazione di prodotti di igiene e cura del corpo, il contatto con articoli come i fasciati e i tappetini da bagno. In base alla concentrazione prevista delle varie sostanze, **lo studio ha concluso che occorre ridurre l'esposizione alle sostanze antiandrogene ed estrogene derivante dal cibo, dall'aria in ambienti chiusi e dai prodotti di consumo**. Fonte: (COM 2012(252) finale)

Sulla base delle azioni promosse dalla stessa Comunicazione UE⁴ si è dato avvio ad una piattaforma europea IPCHEM - the Information Platform for Chemical Monitoring, il cui obiettivo è quello di costruire un sistema informativo in futuro accessibile per ogni organismo degli Stati di dati sul monitoraggio di sostanze chimiche, non necessariamente disciplinate per legge, che sia alla base varie valutazioni a supporto di policy europee e nazionali e delle prassi di valutazione dell'esposizione e del rischio. La piattaforma IPCHEM, alla cui gestione partecipa anche l'Agenzia Europea per l'Ambiente, è strutturata in quattro moduli principali in accordo alla categorizzazione dei dati di monitoraggio delle sostanze chimiche: Environmental monitoring, Human Bio-Monitoring, Food and Feed, Products and Indoor Air. La sede di Ispra del Joint Research Centre (JRC) della

Tabella 1.1. Progetti UE a cui esperti italiani hanno contribuito come partner.

Tabella 1.1. Progetti UE a cui esperti italiani hanno contribuito come partner.		
Progetto	Data	Obiettivo
Sinphonie (Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe) http://www.sinphonie.eu/	2010-2012	Un progetto di ricerca europeo a cui hanno partecipato 25 paesi volto a migliorare la qualità dell'aria indoor in scuole e asili. Gli studi hanno investigato i rapporti con la qualità dell'aria indoor e gli aspetti sanitari e ambientali, inclusa l'influenza dei cambiamenti climatici. Misurazione inquinanti chimici e biologici, valutazione sanitaria e del comfort. Sviluppo di linee guida per un ambiente scolastico sano.
Officair http://www.officair-project.eu/	2010-2013	Determinare la qualità dell'aria negli uffici di moderna costruzione, ampliando le conoscenze tramite database, metodi di valutazione e

³ *Survey and Health Assessment of the exposure of 2 year olds to chemical substances in consumer products* (Indagine e valutazione sanitaria dell'esposizione dei bambini di due anni alle sostanze chimiche nei prodotti di consumo), Ministero danese dell'ambiente, Agenzia per la tutela dell'ambiente, 2009.

⁴ "[...] favorirà lo sviluppo delle conoscenze sulle miscele chimiche cui le popolazioni umane e l'ambiente naturale sono effettivamente esposti promuovendo, mediante la creazione di una piattaforma per i dati sul monitoraggio chimico, una maggiore coerenza nell'approccio alla generazione, raccolta, conservazione e uso di tali dati relativamente all'uomo e all'ambiente. Contribuirà così all'individuazione dei collegamenti fra esposizione e dati epidemiologici al fine di vagliare gli effetti biologici potenziali e migliorare i risultati in termini di salute" Fonte: (COM 2012(252) finale)

		strumenti di modellazione, attraverso un approccio integrato nel valutare il rischio per la salute dovuti all'esposizione a inquinanti indoor. 10 paesi Valutazione qualità aria indoor, modelli di esposizione, valutazione stato di salute. Sviluppo di un database, gestione del rischio e raccomandazioni sulla IAQ
EPHECT Project Emission, Exposure Patterns and Health Effects of Consumer Products in the EU https://sites.vito.be/sites/ephect/Pages/home.aspx	2010-2013	Ha come focus i prodotti di consumo che possono costituire fonti d'inquinamento dell'aria all'interno degli ambienti di vita. L'obiettivo principale è quello di identificare e quantificare i principali inquinanti dell'aria indoor e le sostanze inquinanti emergenti emessi da una selezione di classi di prodotti di consumo.
EnVIE European Co-ordination Action for Indoor Air Quality and Health Effects http://cordis.europa.eu/docs/publications/1264/126459681-6_en.pdf	2009	Si è proposto di studiare approfonditamente l'impatto che ha l'aria di scarsa qualità degli ambienti chiusi sulla salute umana; l'approccio dello studio si è basato sui risultati di progetti di ricerca e sulla letteratura prodotta da vari gruppi e comitati negli ultimi vent'anni.
AIRMEX European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Project	2003-2008	Finalizzato ad identificare e quantificare i principali contaminanti dell'aria presenti in abitazioni private ed edifici pubblici in Europa, quali scuole e asili, e valutare i livelli di esposizione personale a 14 COV (idrocarburi, composti aromatici, alcoli e carbonili) durante le ore lavorative e il tempo di permanenza degli inquinanti nel microambiente.
INDEX Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC31622/1622%20-%20INDEX%20%20EUR%2021590%20EN%20report%5B1%5D.pdf	2005	L'obiettivo di INDEX è stato quello di individuare alcuni inquinanti di interesse prioritario in base al loro impatto sulla salute, fornire raccomandazioni utili alla gestione del rischio associato a questi inquinanti e definire una strategia comune di intervento. Il progetto è stato utile anche ai fini della predisposizione delle linee guida WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants (WHO, 2010)
THADE Towards Healthy indoor Air in	2004	Progettato per dell'inquinamento conoscere Atmosferico meglio gli all'interno effetti sulla delle abitazioni

L'aria indoor nell'esperienza di alcuni Paesi UE

In ambito comunitario, alcuni Paesi hanno inserito nella loro legislazione specifici riferimenti di qualità/standard relativi agli inquinanti indoor, anche per gestire sotto il profilo legale problematiche relative agli ambienti interni. Gli inquinanti chimici indoor più rappresentati negli atti legislativi sono: formaldeide, benzene, monossido di carbonio, anidride carbonica, biossido di azoto,

tricloroetilene, tetracloroetilene, PM10, PM2.5. Alcuni Paesi europei, in particolare la Germania, la Francia, il Portogallo, la Finlandia, l'Austria, il Belgio, i Paesi Bassi e il Regno Unito, hanno istituito gruppi di lavoro multidisciplinari, con il compito specifico di elaborare valori guida, valori di riferimento, valori di azione per la qualità dell'aria negli ambienti indoor. In Tabella 1.2 si riporta un esempio di valori guida e di riferimento estratto dal Rapporto ISTISAN 15/04 dell'ISS.

La definizione di riferimenti di qualità/standard ha anche contribuito alla messa in atto, nell'ambito di appositi programmi, di campagne di monitoraggio della qualità dell'aria indoor al fine di raccogliere specifiche informazioni sullo stato dell'arte nazionale, valutare il ruolo delle diverse sorgenti presenti, individuare le soluzioni/mitigazioni, valutare l'efficacia delle azioni adottate. Come si desume dalla Tab.2 , a seconda della

loro situazione specifica, nei diversi Paesi i riferimenti numerici differiscono anche per le stesse sostanze, perché dipendono dallo stato delle conoscenze al momento dell'elaborazione del valore, o dal diverso percorso utilizzato, es. la popolazione considerata, i meccanismi di azione e gli effetti, ecc. (Settimo G., 2013, 2014, 2015, 2016, 2017).

Tabella 1.2. Esempi di valori guida adottati da alcuni Paesi europei relativi ad alcuni inquinanti chimici indoor
Fonte: modificata da rapporti ISTISAN 15/4

Tabella 1.2. Esempi di valori guida adottati da alcuni Paesi europei relativi ad alcuni inquinanti chimici indoor									
Fonte: modificata da rapporti ISTISAN 15/4									
Inquinante unità di misura	OMS aria ambiente	OMS aria indoor	Francia	Germania	Paesi Bassi	Regno Unito	Belgio Reg. Fiam- minga	Finlandia ***	Portogallo
Benzene µg/m ³	No VG 0,17 (UR/lifeti me) 10-6 1,7 (UR/lifeti me) 10-5	No VG 0,17 (UR/lifeti i me) 10-6	1,7 (UR/lifeti ime) 10- 5 30 (24 h) 10 (1 a) A R : 1 0 L P : 5 dal 1/1/ 2013, 2 dal 1/1/ 2016 0,2 (UR/lifeti me) 10- 6 2 (UR/lifeti me) 10- 5	-	20	5 (1 a)	≤ 2 VI:10		5 (8h)

Formaldeide µg/m ³	100 (30 min)	100 (30 min)	50 (2 h) 10 (1 a) 3 0 da 1/1 /20 13 1 0 da 1/1 /20 23 AR : 10 0 LP: 10 da 2019 (2012 nuovi edifici) 30 (2009) 50 (2009)	120	120(30 min) (30 min) 10 (1 a) 1,2 (LP)	100 (30 min)	10 (30 min) VI: 100	50	100 (8h)
CO mg/m ³	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 35 (1 h) 10 (8 h) 7 (24 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	1,5 (8 h) RWI 6 (30 min) RWI 60 (30 min) RWII 15 (8 h) RWII	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	100 (15 min) 60 (30 min) 30 (1 h) 10 (8 h)	5,7 (24 h) VI: 30 (1 h)	8	10 (8 h)
NO2 µg/m ³	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	200 (1 h) 40 (1 a)	350 (30 mi n) R W I 60 (7 gg) RWII	200 (1 h) 40 (1 a)	300 (1 h) 40 (1 a)	135 (1 h) VI: 200 (1 h)		
Tetracloro- etilene µg/m ³	250 (1 a) 8000 (30 min)	250 (1 a)	1380 (1-14 gg) 250 (1 a) VR: 250 LP: 250 dal 1/1/ 2015	1 (7 gg)	250	-	≤ 100		

Tricloro- etilene µg/m3	No VG 2,3 (UR/lifeti me) 10-6 23 (UR/lifeti me) 10-5 - ≤ 200	No VG 2,3 (UR/lifeti me) 10-6 23 (UR/lifeti me) 10-5	800 (14 gg-1 a) AR: 10. VR: 2 LP da OMS: 2,0 (UR/lifeti me) 10- 6 20 (UR/lifeti me) 10- 5	1 (7 gg)	-	-	≤200	-	-
PM10	50 (24 h) 20 (1 a)	-	50 (24 h) 20 (1 a) AR: 75 LP: 15	-	50 (24 h) 20 (1 a)	-	≤40 (24 h) 50	5 0	5 0 (8 h)
PM2,5	25 (24 h) 10 (1 a)	-	25 (24 h) 10 (1 a) AR: 50 LP: 10	25 (24 h)	25 (24 h) 10 (1 a)	-	≤15 (1 a)	-	2 5 (8 h)

* I valori guida di qualità dell'aria indoor indicano i livelli di concentrazione in aria degli inquinanti, associati ai tempi di esposizione, ai quali non sono attesi effetti avversi per la salute, per quanto concerne le sostanze non cancerogene.

** Per il corretto utilizzo di questi dati si raccomanda di consultare le indicazioni riportate dall'OMS nel lavoro originale; la stima dell'incremento del rischio unitario è intesa come il rischio addizionale di tumore, che può verificarsi in una ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui sono continuamente esposti, dalla nascita e per tutto l'intero tempo di vita, ad una concentrazione dell'agente di rischio nell'aria che essi respirano.

*** I valori guida per gli ambienti confinati si applicano agli edifici che sono occupati per almeno sei mesi e dove il sistema di ventilazione è tenuto costantemente acceso.

a: anno; g: giorno; gg: giorni min: minuti;

AR: Azione Rapida;

LP: Lungo Periodo;

No VG: No Valore Guida;

VI: Valore Intervento;

VR: Valore di Riferimento;

RW I: Richtwert I, concentrazione di una singola sostanza al di sotto della quale allo stato attuale delle conoscenze non si aspettano danni alla salute. Il valore guida RW I viene dedotto dal RW II. RW II: Richtwert II, concentrazione di una sostanza il cui superamento richiede un intervento immediato, è valore operativo

Le norme ISO e CEN per l'indoor

Di particolare importanza, è il lavoro svolto dagli organismi di normazione come l'*International Organization for Standardization (ISO)*, e il Comitato Europeo di Normazione (CEN) che da tempo si sono impegnati nello sviluppo di specifiche metodiche standardizzate con cui effettuare le misurazioni negli ambienti indoor. In particolare, la norma "EN ISO 16000: Indoor air", che descrive le procedure con cui effettuare

le attività di campionamento e le analisi dei principali inquinanti negli ambienti indoor ed è costituita da più parti specifiche; in parte molte di queste sono state recepite in Italia dall'Ente Italiano di Normazione (UNI) (Allegato II). L'utilizzo di metodiche ufficiali unificate e aggiornate può rappresentare un passo avanti nelle attività di studio e nei controlli; questo anche in termini di possibilità di corretta comparazione tra i diversi dati sulla qualità dell'aria indoor prodotti a livello europeo, sottolineando la necessità di una puntuale applicazione delle norme, in

particolare per la fase di campionamento (es. scelta del punto, altezza di prelievo, distanza da pareti, attività preliminari, ecc.) che rappresenta l'inizio del procedimento di controllo e quindi ne condiziona il risultato finale.

La concreta applicazione delle norme elaborate porterà a superare situazioni di oggettiva difficoltà, soprattutto per gli organismi preposti al controllo.

L'indoor nell'esperienza istituzionale e normativa del nostro Paese

Per alcuni aspetti l'Italia è stata pioniera sul tema indoor in Europa.

Già agli inizi degli anni '90 veniva istituita presso il Ministero dell'Ambiente, la Commissione Nazionale per l'Inquinamento degli Ambienti Confinati che ha proposto una definizione di inquinamento indoor come: la presenza nell'aria di ambienti confinati, di inquinanti chimici, fisici o biologici non presenti, naturalmente, nell'aria esterna". Successivamente, nell'aprile del 1998 l'allora Ministero della Sanità, istituiva la Commissione tecnico-scientifica sull'indoor che ha prodotto uno dei rapporti nazionali più completi sull'indoor introducendo, tra l'altro, anche una definizione istituzionale di "indoor" o ambiente confinato (ambienti di vita e di lavoro non industriali e, in particolare, a quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto). Il Rapporto della Commissione è stato propedeutico all'accordo siglato nel 2001 tra Ministero della Salute, Regioni e Province autonome, concernente "Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati" (Accordo 27 settembre 2001). L'Accordo costituisce sicuramente una pietra miliare per la governance dell'indoor e, pur non fornendo nello specifico indicazioni tecniche su procedure, valori guida o standard da adottare per gli inquinanti indoor, ha contribuito all'avvio dell'elaborazione di una serie di linee guida quali, ad esempio:

- Linee guida per la predisposizione di protocolli tecnici per la definizione predittiva sugli impianti di climatizzazione; (Conferenza Stato Regioni 2006)
- Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma; (Conferenza Stato Regioni 2010)

- Procedura operativa per la valutazione e gestione dei rischi correlati all'igiene degli impianti di trattamento ad aria; (Conferenza Stato Regioni 2013);

Altre iniziative progettuali di rilievo riguardano l'inclusione dell'indoor nelle attività dal 2009 nell'ambito dell'Alleanza contro le malattie respiratorie croniche-GARD Italia (*Global Alliance against Chronic Respiratory Diseases*), un'alleanza volontaria di organizzazioni, istituzioni e agenzie internazionali nata per costruire una strategia globale per la sorveglianza, la prevenzione e il controllo delle malattie respiratorie croniche e il finanziamento di alcuni Progetti nell'ambito dei fondi del Programma CCM del Ministero della Salute. Esperti di ISPRA, SNPA e ISS hanno partecipato ad alcune di queste iniziative.

Al complesso tema dell'aria indoor il Ministero della Salute ha dedicato un portale dedicato http://www.salute.gov.it/portale/temi/p2_4.jsp?lingua=italiano&area=indoor, dove sono riportate anche esperienze progettuali finanziate dal Ministero,

In ultimo, ma non per ultimo, l'aria indoor come determinante di salute è stata anche ribadita nel Piano Nazionale della Prevenzione 2014-2018 del Ministero della Salute, sottoscritto dalla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome

Anche se nel nostro Paese in questi anni si è avuta un'evoluzione della sensibilità ambientale che ha portato ad una maggiore consapevolezza (anche tecnico scientifica) della tematica "aria indoor", sul fronte legislativo, nonostante le numerose iniziative "pre-normative", ad oggi è assente una legislazione che organicamente ne comprenda tutti gli aspetti di governance o, in particolare per gli inquinanti chimici, che tenga conto delle indicazioni elaborate dall'OMS in tema di valori guida.

Pertanto fino ad oggi le maggiori informazioni riguardo alcuni valori guida o di riferimento negli ambienti indoor da utilizzare per un primo confronto, sono quelli che possono essere reperiti nella legislazione di altri Paesi europei (Tabella 2.2 precedente), nelle esperienze riportate da gruppi di lavoro ad hoc (Settimo G 2012; Settimo G 2013; Settimo G, D'Alessandro D 2015;

Settimo G 2015, Settimo 2017) nella letteratura scientifica o per analogia, ad altri standard quali ad esempio quelli relativi all'aria ambiente (DLgs 155/2010 smi).

Va inoltre segnalato un aspetto particolare relativo alla disciplina dell'inquinamento indoor negli ambienti di lavoro; ad oggi, al fine di valutare la qualità dell'aria indoor negli ambienti in cui si svolgono attività lavorative (esempio: uffici, scuole, ospedali, banche, uffici postali, ecc.) si utilizzano i valori limite di esposizione professionale (VLEP) presenti nei DLgs 81/08 smi (allegati XXXVIII, XLI, XLIII) o i valori limite di soglia (TLV dell' American Conference of Governmental Industrial Hygienists-ACGIH o dello Scientific Committee For Occupational Exposure Limits-SCOEL) seppur ridotti di 1/10 o 1/100. Tale approccio andrebbe considerato come superato, per come indicato nei specifici riferimenti elaborati dai diversi gruppi di lavoro nazionali ed europei sulla tematica indoor. Questa indicazione era stata data dall'OMS, già agli inizi degli anni 80, nel documento Indoor Air Pollutants: Exposure and Health Effects (WHO 1983), che riportava come fosse errato utilizzare i valori limiti di esposizione professionale industriale per gli ambienti indoor non industriali, e che per tali ambienti era necessario lo sviluppo di specifici riferimenti (Settimo 2015, Settimo 2017).

L'indoor nella normativa dei siti contaminati

Nel DLgs 152/2006 alla parte IV, Norme in materia di rifiuti e bonifica" nell'allegato 1 al Titolo V "Bonifica siti contaminati" troviamo diversi riferimenti all'ambiente indoor: alla lettera t) Condizioni di emergenza al punto 1) concentrazioni attuali o potenziali di vapori in spazi confinati prossime ai livelli di esplosività o idonee a causare effetti nocivi acuti alla salute, e tra le vie di esposizione viene nominata anche l'aria indoor "porzione di ambiente aeriforme confinata in ambienti chiusi" e tra le modalità di esposizione attraverso cui può avvenire il contatto tra inquinante e il bersaglio vi è l'inalazione di vapori e particolato".per le procedure di calcolo finalizzate alla caratterizzazione quantitativa del rischio, il DLgs 152/06 non indica un metodo specifico e definitivo ma rimanda a standard di comprovata validità quali ad

esempio, ASTM PS 104. Una revisione dello stato dell'arte in materia è stata effettuata dal documento APAT "Criteri Metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio ai siti contaminati" [ISPRA, 2008] di cui si riporta: "...le equazioni per il calcolo dei fattori di volatilizzazione, in ambienti aperti (outdoor) e confinati (indoor) rappresentano la capacità attuale di descrizione matematica dei fenomeni nell'ambito di applicazione di un Livello 2 di Analisi di Rischio. Laddove l'applicazione di tali equazioni determini un valore di rischio non accettabile per la via di esposizione inalazione di vapori outdoor e/o indoor, dovranno essere eventualmente previste campagne di indagini (misure di soil-gas, campionamenti dell'aria indoor e outdoor) allo scopo di verificare i risultati ottenuti mediante l'applicazione del modello di analisi di rischio." (APAT 2008).

Il documento, sulla base di quanto riportato nella letteratura internazionale riconosce una sovrastima dei modelli analitici e rimanda a misure dirette (APPENDICE S, 2008) che vanno poi valutate ai sensi della legislazione sulle bonifiche (calcolo del rischio), sia per le aree residenziali che per quelle industriali. Un importante riferimento in questo senso è il "Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati", 2014 (ISS-INAIL, 2014), predisposto da ISS, INAIL, AUSL Veneziana, ARPAV per il sito di Venezia - Porto Marghera, che prevede di calcolare il rischio in maniera diretta sia per i composti tossici sia per quelli cancerogeni, partendo da dati di soil gas o di aria ambiente. In aggiunta, per le sole aree industriali, INAIL, ha pubblicato un manuale (INAIL, 2014) finalizzato alla proposta di strumenti operativi per la valutazione e gestione del rischio per la salute da esposizione ad agenti chimici per i lavoratori presenti a qualsiasi titolo su di un sito contaminato o potenzialmente tale.

1.2 L'INDOOR NELLE ATTIVITÀ DELL'ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ E DI ISPRA

In risposta alla crescente attenzione alla materia indoor esperti di ISS e ISPRA non solo hanno contribuito a progetti nazionali ed europei ma hanno anche dato avvio a tavoli tecnici e gruppi di lavoro ad hoc e prodotto

documenti e studi sulle diverse problematiche indoor, volti a potenziare le conoscenze e gli strumenti degli operatori di sanità e ambiente.

Nel corso dell'anno 2010, l'Istituto Superiore di Sanità ha istituito un Gruppo di Studio nazionale Inquinamento Indoor (GdS-ISS) nel quale sono rappresentate le varie componenti ministeriali (Ministero Salute, Ministero Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare, Ministero Lavoro e delle Politiche Sociali), regioni, enti locali, e istituti di ricerca Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e ARPAMarche (referente SNPA), e dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) e l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) che sta lavorando per fornire documenti tecnico-scientifici condivisi, al fine di

consentire azioni armonizzate a livello nazionale. Al riguardo nell'ultimo documento OMS sul country profile dell'Italia vengono indicate proprio le attività svolte dal GdS-ISS come riferimento centrale per il paese.

Nella Tabella 1.3 sono riassunti i documenti prodotti dal "Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor" presso l'ISS⁵. Questi documenti riportano una serie d'importanti indicazioni su come operare in tali ambienti, sulle operazioni preliminari, sulla scelta dei punti nel quale effettuare i campionamenti, sulle tecniche di campionamento, e sulla conservazione e analisi dei campioni.

Tabella 1.3 Documenti e Rapporti prodotti dal Gruppo di Studio nazionale sull'inquinamento indoor dell'Istituto Superiore di Sanità:

Tabella 1.3 Documenti e Rapporti prodotti dal Gruppo di Studio nazionale sull'inquinamento indoor dell'Istituto Superiore di Sanità:		
Documento	Anno	Obiettivo
Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor (Rapporti ISTISAN 13/4)	2013	Definizione dei criteri per la pianificazione delle metodologie e delle modalità di campionamento /analisi dei COV. 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 Norma tecnica "UNI EN ISO 16000-1:2006 Aria in ambienti confinati - Parte 1: Aspetti generali della strategia di campionamento
Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor (Rapporti ISTISAN 13/37)	2013	Obiettivo del documento è uniformare le metodologie che potranno consentire di caratterizzare e valutare le concentrazioni di agenti biologici (allergeni, batteri, endotossine, funghi, ecc.) in ambienti confinati. Le indicazioni sono rivolte in particolare a quelle strutture che, a vario titolo, sono preposte al controllo e/o allo studio microbiologico della qualità dell'aria e delle superfici negli ambienti indoor.
Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor (Rapporti ISTISAN 15/5)	2015	Il rapporto ha l'obiettivo di armonizzare e standardizzare le modalità operative per una prima caratterizzazione, per il campionamento e per l'analisi delle fibre aerodisperse considerando che la loro pericolosità per la salute risiede nella capacità delle fibre più sottili di penetrare profondamente nell'apparato respiratori
Parametri microclimatici e inquinamento indoor (Rapporti ISTISAN 15/25)	2015	Inquadramento dei parametri termo-igrometrici e i componenti/elementi del sistema edilizio di cui tener conto nel monitoraggio dell'aria indoor e una sintesi delle relative influenze sugli inquinanti chimici e biologici.
Presenza di CO ₂ e H ₂ S in ambienti indoor: attuali conoscenze e letteratura scientifica (Rapporti ISTISAN 16/15)	2015	L'ISS ha predisposto un documento con la finalità di agevolare il processo decisionale o la messa a punto di procedure e raccomandazioni in aree in cui la qualità degli ambienti indoor può essere influenzata dalla presenza di degli inquinanti CO ₂ e H ₂ S. I valori guida della CO ₂ in ambiente indoor e i valori guida dell'H ₂ S in aria ambiente presi a riferimento da diversi Paesi, oltre a quelli raccomandati dalla Organizzazione Mondiale della Sanità e da altre istituzioni internazionali
Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM ₁₀ e PM _{2,5} in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici (Rapporti ISTISAN 16/16)	2016	Definizione di una strategia di monitoraggio del materiale particolato sospeso PM ₁₀ e PM _{2,5} , con lo scopo di stabilire univocamente e dettagliatamente procedure di campionamento, misura e caratterizzazione chimica di natura organica e inorganica del materiale particolato PM ₁₀ e PM _{2,5} , che tiene conto delle più attuali conoscenze scientifiche disponibili. Ricognizione della documentazione tecnico-scientifica più aggiornata e delle norme di riferimento disponibili, a livello europeo e internazionale, sulle metodiche di campionamento e sulle analisi da effettuare negli ambienti indoor, per identificare sia le sorgenti indoor sia i possibili apporti esterni

Tabella 1.4. Principali studi, Progetti e attività ISPRA in tema di inquinamento indoor

Tabella 1.4. Principali studi, Progetti e attività ISPRA in tema di inquinamento indoor		
Documento	Anno	Obiettivo
<p>The SEARCH Initiative (<i>School Environment and Respiratory Health of Children</i>) http://search.rec.org/</p> <p>Pubblicazioni e studi : http://search.rec.org/</p>		<p>Il progetto internazionale di ricerca, finanziato e promosso dal Ministero dell'Ambiente italiano, nelle sue varie fasi ha investigato la qualità dell'aria indoor nelle scuole, il comfort microclimatico e la salute respiratoria dei bambini e, inoltre, prodotto raccomandazioni sulla gestione della qualità dell'aria indoor a scuola e investigato il potenziale ruolo delle politiche di sostenibilità nel migliorarla. Nel suo insieme il Progetto, ha visto la partecipazione di 10 Paesi partner e le indagini ambientali e sanitarie hanno riguardato rispettivamente circa 400 di 100 scuole e valutazione sanitaria di circa 8000 bambini. Sulla base dell'esperienza SEARCH, nella fase finale dell'iniziativa internazionale, è stato ideato e prodotto l'AIRPACK.</p>
<p><i>Progetto SEARCH I</i> <i>Qualità dell'aria nelle scuole: un dovere di tutti, un diritto dei bambini</i></p>	<p>I fase 2006– 2009</p>	<p>Misurazione delle concentrazioni inquinanti atmosferici indoor e outdoor e valutazione sanitaria dei bambini arruolati nello studio (questionari e spirometrie)</p>
<p><i>Progetto SEARCH II</i> <i>Making Schools Healthy: Meeting Environment and Health Challenges</i> <i>Targeting indoor air quality in sustainable patterns</i></p>	<p>II fase 2010– 2013</p>	<p>Valutazione integrata di aria indoor, comfort e gestione energetica degli edifici scolastici in studio</p>
<p>Progettazione e sviluppo dell'AIRPACK</p>	<p>III fase 2014– 2015</p>	<p>Air pack è un toolkit educazionale multimediale, disponibile on line gratuitamente, sulla qualità dell'aria indoor da utilizzare nelle scuole progettato per insegnanti e per bambini tra gli 8 e gli 11 anni</p>
<p>Set di indicatori proxy per l'inquinamento indoor nelle</p>	<p>2016</p>	<p>L'ISPRA ha individuato nell'ambito del Rapporto sulla qualità</p>

1.3 L'ARIA INDOOR NELLE ATTIVITÀ DELLE AGENZIE AMBIENTALI

A cura di Silvia Brini, Giuliana Giardi, Arianna Lepore e Jessica Tuscano (ISPRA)

Il monitoraggio dell'aria indoor non rientra nelle attività ordinarie SNPA che comunque è dotato di esperti sul tema. A specifico supporto di questo Rapporto è stata quindi avviata una ricognizione sulle principali esperienze di attività di monitoraggio delle Agenzie in tema di aria indoor. E' stato predisposto un questionario ad hoc somministrato on line alle Agenzie ambientali; la

ricognizione ha riguardato tutte le attività svolte nel periodo 2010-2016

Come risulta dai dati dell'indagine effettuata da ISPRA le campagne di monitoraggio hanno riguardato differenti tipologie di ambienti confinati (scuole, residenze private e commerciali, uffici) sia in aree industriali attive che non. L'esperienza SNPA, effettuata generalmente su committenza di Enti esterni o in progetti di ricerca si diversificano per tipo d'inquinante monitorato e per contesti operativi (dall'emergenza incendi, al supporto alle valutazioni sanitarie in siti sensibili e al possibile impatto delle emissioni prodotte da cicli industriali).

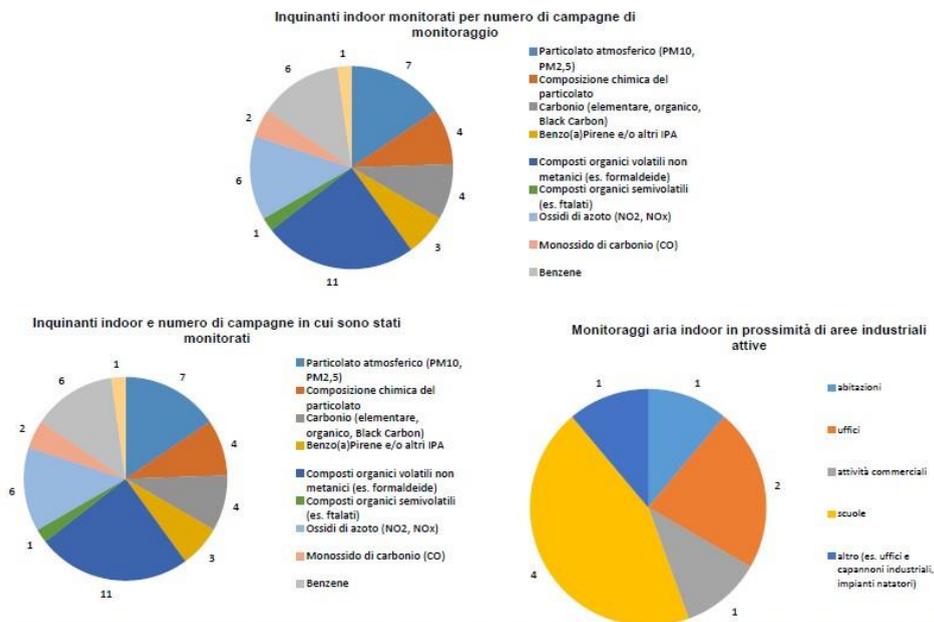


Fig.2 – Sintesi risultati principali campagne di monitoraggio dell'aria indoor effettuate da SNPA -2010-2016

Figura 1.1 Sintesi risultati principali campagne di monitoraggio dell'aria indoor effettuate da SNP 2010-2016. Fonte

Nell'Allegato 1 che è parte integrante di questo Rapporto è possibile la lettura integrale del documento relativo all'indagine ISPRA-SNPA, ovvero i risultati e l'analisi dei

questionari, la contestualizzazione e le informazioni dei vari progetti. Un esempio dell'esperienza agenziale è riportato nel BOX 1.1.

BOX 1.1 La campagna di monitoraggio indoor di ARPA Puglia in un edificio scolastico situato in prossimità di siti ad alto impatto industriale.

L'Agenzia di Protezione Ambientale della Puglia all'interno del Programma Straordinario Salute Ambiente – Taranto ha effettuato una campagna di monitoraggio all'interno di un edificio scolastico situato in prossimità di siti ad alto impatto industriale. Il progetto è stato finanziato dalla Regione Puglia, ed è stato portato avanti dall'unità UOS Particolato

Atmosferico e Olfattometria del Centro Regionale Aria.

La campagna di monitoraggio invernale si è svolta dall'11 al 22 dicembre 2014, all'interno dell'Istituto Comprensivo G. Galilei- Plesso Gabelli- Scuola dell'Infanzia – Primaria – Secondaria di I Grado in Via Verdi 1, nel quartiere Tamburi.

La campagna di monitoraggio, come previsto nelle metodologie accreditate (norme ISO, Rapporti ISTISAN) ha previsto lo svolgimento di rilevamenti in contemporanea delle concentrazioni d'inquinanti outdoor ed indoor sia all'esterno che all'interno dell'edificio scolastico, al fine di valutare l'impatto delle sorgenti outdoor sulla qualità dell'aria indoor un confronto sincrono tra, e dunque. La scuola prescelta si trova in posizione centrale rispetto alla locazione delle tre centraline di monitoraggio della qualità dell'aria (Orsini- Rete Ilva; Via Machiavelli e Archimede - Rete Regionale ARPA). È stato pertanto predisposto un piano di attività di monitoraggio dei principali inquinanti e del microclima. Il monitoraggio ha previsto:

- Screening di COV e determinazione di BTEX

- Monitoraggio in continuo di COV totali
- Monitoraggio in continuo degli IPA TOTALI

- Campionamento di PM 2.5 e caratterizzazione chimica in termini di IPA e Metalli
- Misura dei parametri microclimatici.

In ciascuna delle tre aule utilizzate per la didattica e nella zona centrale sono stati posizionati 2 campionatori diffusivi/passivi a simmetria radiale *Radiello* per termo-desorbimento per la determinazione dell'esposizione media settimanale a Composti Organici Volatili; tali campionatori sono stati esposti in maniera continuativa per 7 giorni, trascorsi i quali la cartuccia è stata sostituita con una pulita esposta anch'essa per una settimana.

I campionatori sono stati sistemati al centro delle aule oggetto di studio ad almeno una distanza tra 1 e 2 m dalla parete e a un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento e lontani da un diretto irraggiamento solare o da presenza di fonti di calore, correnti d'aria (porte e finestre); è infatti necessario porre grande attenzione ai moti d'aria, che dipendono dalla natura e dall'entità della ventilazione, soprattutto utilizzando campionatori di tipo passivo, questo al fine di mantenere costante il processo diffusivo degli inquinanti sulla cartuccia del campionatore secondo le indicazioni riportate nelle norme tecniche UNI EN ISO 16000-1: 2006 (Indoor Air- Part 1: General Aspects of Sampling Strategy) e UNI EN ISO 16000-5: 2007 (Indoor Air- Part 5: Sampling Strategy for Volatile Organic Compounds (VOCs).

PM2.5 è stato campionato giornalmente su filtri in fibra di quarzo mediante un campionatore sequenziale *Skypost* (TECORA) operante ad un flusso di 2.3 m³/h sistemato nella zona centrale dell'edificio scolastico. I campioni di PM2.5 raccolti durante la campagna di campionamento sono stati analizzati al fine di determinare le concentrazioni di IPA e metalli

I risultati dell'indagine sono reperibili nei seguenti articoli [open access](#): -

A.Marzocca, A. Di Gilio, G. Farella, R. Giua, G. de Gennaro, 2017. *Indoor Air Quality Assessment and Study of VOC Intrusion within a School in Taranto City, South of Italy Environments • Special Issue "Volatile Organic Compounds*

in Environment", *Environments* 2017, 4(1), 23; doi:10.3390/environments4010023 (<http://www.mdpi.com/2076-3298/4/1/23/htm>)

A. Di Gilio, G. Farella, A. Marzocca, R. Giua, G. Assennato, M. Tutino, and G. de Gennaro, 2017." *Indoor/Outdoor Air Quality Assessment at School near the Steel Plant in Taranto (Italy)*", *Advances in Meteorology*. Volume 2017 (2017), Article ID 1526209, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/1526209> (<https://www.hindawi.com/journals/amete/2017/1526209/>)

BIBLIOGRAFIA

Accordo Governo Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano conferenza unificata novembre (2010) Schema di linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie e asma Accordo.

http://www.unipd-org.it/rls/Lineeguida/Istruzione/conferenza_unificata_aria_scuole.pdf

Accordo Stato Regioni, (2010) "Linee di indirizzo per la prevenzione nelle scuole dei fattori di rischio indoor per allergie ed asma".

http://www.statoregioni.it/Documenti/DOC_029580_124%20cu.pdf

AIRMEX European Indoor Air Monitoring and Exposure Assessment Project.

<http://web.jrc.ec.europa.eu/airmex/viewdata/home.cfm>

APAT (2008) "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati - Appendici" (revisione 2, marzo 2008);

Bonadonna L, et al., (2013) per il Gruppo di Studio Nazionale sull'Inquinamento Indoor. Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/37)

Conferenza Stato Regioni (2006) - Linee Guida per la definizione di protocolli tecnici di manutenzione predittiva sugli impianti di climatizzazione" La Conferenza Permanente per i Rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano, con il provvedimento 5 ottobre 2006, (GU 3 Nov 2006)

Conferenza Stato Regioni (2013) Procedura operativa per la valutazione e gestione dei rischi correlati all'igiene degli impianti di trattamento aria Conferenza Stato-regioni, 7 febbraio 2013

Musmeci L. et al., (2015) "Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor". Rapporti ISTISAN 15/5.

EN ISO 16000: (2006). Indoor air. Bruxelles: European Committee for standardization; 2006.

EnVIE-European Co-ordination Action for Indoor Air Quality and Health Effects.

http://cordis.europa.eu/docs/publications/1264/126459681-6_en.pdf

EPHECT Project - Emission, Exposure Patterns and Health Effects of Consumer Products in the EU. <https://sites.vito.be/sites/ephect/Pages/home.aspx>

EXPOLIS European Exposure Assessment Study http://www.thl.fi/expolis/files/final_report.pdf

European Communities. (2007) SCHER-Scientific Committee on Health and Environmental Risks. Opinion on risk assessment on indoor air quality. 2007. Disponibile all'indirizzo:

http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_055.pdf; ultima consultazione 31/10/2013

Fuselli S, et al., (2013) Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor.

Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/4).

Gard - La qualità dell'aria nelle scuole e rischi per malattie respiratorie e allergiche. Quadro conoscitivo sulla situazione italiana e strategie di prevenzione. http://www.salute.gov.it/imgs/c_17_pubblicazioni_1892_allegato.pdf

IAIAQ- Promoting actions for healthy indoor air. http://ec.europa.eu/health/sites/health/files/healthy_environments/docs/env_iaiaq.pdf

INAIL (2015) Il rischio chimico per i lavoratori nei siti contaminati

https://www.inail.it/cs/internet/docs/allegato_rischio_chimico_siti_contaminati.pdf

INDOOR-SCHOOL. Esposizione ad inquinanti indoor: linee guida per la valutazione dei fattori di rischio in ambiente scolastico e definizione delle misure per la tutela della salute respiratoria degli scolari e degli adolescenti" (Indoor-School).

<http://www.ccm-network.it/pagina.jsp?id=node/1943>

INDEX Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC31622/1622%20-%20INDEX%20%20EUR%201590%20EN%20report%5B1%5D.pdf>

Institute of medicine (2011) Climate change, the indoor environment and health. Washington DC. The national Academies Press. ISBN 978-0-309-20941-0

ISPRA (2010) Inquinamento indoor: aspetti generali e casi studio in Italia.

<http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00010300/10392-rapporto-117-2010.pdf>

ISS-INAIL (2014) Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati. <http://www.bonifiche.minambiente.it/contenuti/protocolli/PROTOCOLLO%20SOIL%20GAS.zip>

JRC (2010) Report No 27 Harmonisation framework for indoor material labelling schemes in the EU JRC 2010

http://www.euofins.com/media/2319/eca_report_no_27_final-draft.pdf

Ministero della Salute 2001 Accordo del 27 settembre 2001, tra il Ministero della salute, regioni e le province autonome Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati

Musmeci L et al (2015) "Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor". Rapporti ISTISAN 15/5.

Officair - On the reduction of health effects from combined exposure to indoor pollutants in Modern Offices <http://www.officair-project.eu/>

Progetto Gioconda: I Giovani Contano nelle Decisioni su Ambiente e Salute. <http://gioconda.ifc.cnr.it/> Santansiero et al., (2015) Parametri microclimatici e inquinamento indoor Roma ISS 2015 (Rapporti

ISTISAN 15/25) http://www.iss.it/binary/indo/cont/15_25_web.pdf

Rapporti ISTISAN 13/4 Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor (Rapporti ISTISAN 13/4).

http://www.iss.it/binary/publ/cont/13_4_web.pdf

Rapporti ISTISAN 13/37 Strategie di monitoraggio dell'inquinamento di origine biologica dell'aria in ambiente indoor (Rapporti ISTISAN 13/37). http://www.iss.it/binary/indo/cont/13_37_web.pdf

Rapporto ISTISAN 15/4 La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor.

http://www.iss.it/binary/publ/cont/15_4_web.pdf

Rapporti ISTISAN 15/5 Strategie di monitoraggio per determinare la concentrazione di fibre di amianto e Fibre artificiali vetrose aerodisperse in ambiente indoor (Rapporti ISTISAN 15/5).

http://www.iss.it/binary/publ/cont/15_5_web.pdf

Rapporti ISTISAN 15/25 Parametri microclimatici e inquinamento indoor (Rapporti ISTISAN 15/25). http://www.iss.it/binary/indo/cont/15_25_web.pdf

Rapporti ISTISAN 16/15 Presenza di CO2 e H2S in ambienti indoor: attuali conoscenze e letteratura scientifica (Rapporti ISTISAN 16/15).

http://www.iss.it/binary/publ/cont/16_15_web.pdf

Rapporti ISTISAN 16/16 Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM10 e PM2,5 in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici (Rapporti ISTISAN 16/16). http://www.iss.it/binary/publ/cont/16_16_web.pdf

RAU- ISPRA (2016) Set di indicatori proxy per l'inquinamento indoor nelle città italiane.

<http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/stato-dellambiente/xii-rapporto-qualita-dell2019ambiente-urbano-edizione-2016>

Sinphonie (Schools Indoor Pollution and Health: Observatory Network in Europe)

<http://www.sinphonie.eu/>

Settimo G. (2012) La qualità dell'aria in ambienti confinati: nuovi orientamenti nazionali e comunitari. Notiziario Istituto Superiore di Sanità. 2012;25(5). p. 7–10.

Settimo G. (2013) Inquinamento dell'aria in ambienti confinati: orientamenti e valutazioni in campo nazionale e comunitario. In: Workshop. Problematiche relative all'inquinamento indoor: attuale situazione in Italia. Istituto Superiore di Sanità. Roma, 25 giugno 2012. Atti. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2013. (Rapporti ISTISAN 13/39). p. 7–20.

Settimo G, D'Alessandro D. (2015) Orientamenti normative comunitari sulla qualità dell'aria indoor: quali proposte per l'Italia. Epidemiologia&Prevenzione Supplemento 2. Anno 38 (6). p. 36–41. novembre-dicembre 2014.

Settimo G. (2015) Qualità dell'aria negli ambienti confinati: aspetti tecnici e legislativi. Workshop. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e

comunitaria. In: Rapporto ISTISAN 15/04. 2015.
http://www.iss.it/binary/publ/cont/15_4_web.pdf

Settimo G et al., (2016). Presenza di CO₂ e H₂S in ambienti indoor: attuali conoscenze e letteratura scientifica (Rapporti ISTISAN 16/15)

http://www.iss.it/binary/publ/cont/16_15_web.pdf

Settimo G et al., (2016) Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM₁₀ e PM_{2,5} in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici (Rapporti ISTISAN 16/16)

http://www.iss.it/binary/publ/cont/16_16_web.pdf

THADE - Towards Healthy Indoor Air in Dwellings in Europe.

http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2001/pollution/fp_pollution_2001_frep_02.pdf

The Search Initiative - School Environment and Respiratory Health of Children <http://search.rec.org/>

World Health Organization (1983) – Regional Office for Europe. Indoor air pollutants: exposure and

health effects. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe Regional Publications; 1983.

WHO (2009) WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould” WHO Regional Office for Europe (2009).

<http://www.who.int/indoorair/publications/7989289041683/en/>

WHO (2010) World Health Organization Guidelines for indoor air quality: selected pollutants.. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2010. Disponibile all'indirizzo:

http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf; ultima consultazione 8/3/2013.

World Health Organization. (2014) WHO guidelines for indoor air quality: household fuel combustion. Geneva: WHO; 2014. Disponibile all'indirizzo:

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/141496/1/9789241548885_eng.pdf; ultima consultazione 7/4/15.

2. ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE MULTISORGENTE DELL'ESPOSIZIONE AD INQUINANTI CHIMICI IN AMBIENTE INDOOR IN AREE A FORTE PRESSIONE AMBIENTALE

A cura di Marco Baldini (ARPA Marche), Annalisa Marzocca (ARPA Puglia), Stefano Zauli (ARPAE Emilia Romagna)

Introduzione

La caratterizzazione di un'area sulla quale potenzialmente impattano fattori di pressione ambientale è condizione necessaria alla valutazione delle esposizioni dei singoli cittadini e della popolazione nel suo complesso. L'esposizione ambientale è definita come il contatto fra un agente potenzialmente dannoso presente in una matrice ambientale e una superficie del corpo umano (EPA, 2016). Un'adeguata valutazione delle esposizioni richiede, per la sua completezza d'informazione, la misura o stima della intensità, frequenza, modalità e durata dell'esposizione ai contaminanti, assieme alla conoscenza della numerosità e delle caratteristiche della popolazione esposta (Paustenbach DJ, 2000).

Nell'ambito della valutazione delle esposizioni possono essere individuati diversi livelli decisionali (Ranzi A, 2014):

1. identificazione delle modalità di contatto con l'inquinante e dei luoghi presso cui i potenziali recettori possono risultarne esposti;
2. definizione della dimensione temporale di interesse e dell'eventuale variabilità dell'esposizione nel tempo;
3. valutazione dell'intensità dell'esposizione, ossia conoscenza delle concentrazioni ambientali degli inquinanti di interesse.

In merito al primo punto, inerente la modalità di contatto con l'inquinante, la forma più frequente è rappresentata senza dubbio dall'inalazione, sebbene per alcune

sostanze (es. inquinanti persistenti quali diossine e metalli pesanti) l'assunzione attraverso la dieta possa rappresentare la via di esposizione più importante. Per quanto riguarda i luoghi nei quali i potenziali recettori possono venire in contatto con gli inquinanti, solitamente la residenza rappresenta l'ambiente di riferimento principale per la valutazione dell'esposizione; limitatamente a casi particolari, la definizione dell'esposizione avviene in luoghi di lavoro o in siti sensibili come le scuole o le case di cura (Dlgs 81/08 s.m.i. art. 15).

Il contesto geografico risulta essere il più idoneo per integrare informazioni di tipo ambientale con dati socio-demografici per l'attribuzione di valori di esposizione alla popolazione oggetto di indagine. L'associazione della residenza con la localizzazione di residenza, o del luogo di lavoro consente una maggiore accuratezza e ponderazione dell'esposizione conducendo a una migliore definizione dell'esposizione individuale (Angelini P, 2011), soprattutto se sono note le caratteristiche e le modalità di utilizzo degli ambienti indoor.

Circa il secondo livello decisionale, è importante considerare la dimensione temporale dell'esposizione in funzione dell'effetto sanitario d'interesse. Nel caso della valutazione di effetti cronici, come nel caso di indagini su patologie polmonari cronico ostruttive o patologie tumorali, si individuano misure di esposizione long-term, quali le concentrazioni medie annue; nel caso della valutazione di effetti acuti, come l'infarto miocardico o gli attacchi d'asma, il riferimento è dato da misure di esposizione short-term, quali le variazioni giornaliere delle concentrazioni di inquinanti (Ranzi A, 2014).

La procedura di valutazione dell'intensità dell'esposizione, presente al terzo livello decisionale, risulta alquanto complessa in quanto l'inquinamento ambientale, in generale, è caratterizzato da esposizioni multiple, basse concentrazioni di inquinanti ed elevata

diffusione, variabilità spazio-temporale e elevata numerosità degli esposti (Baker D, 2008).

Nella valutazione dell'intensità dell'esposizione, si usa distinguere metodi diretti e indiretti (figura 2.1).

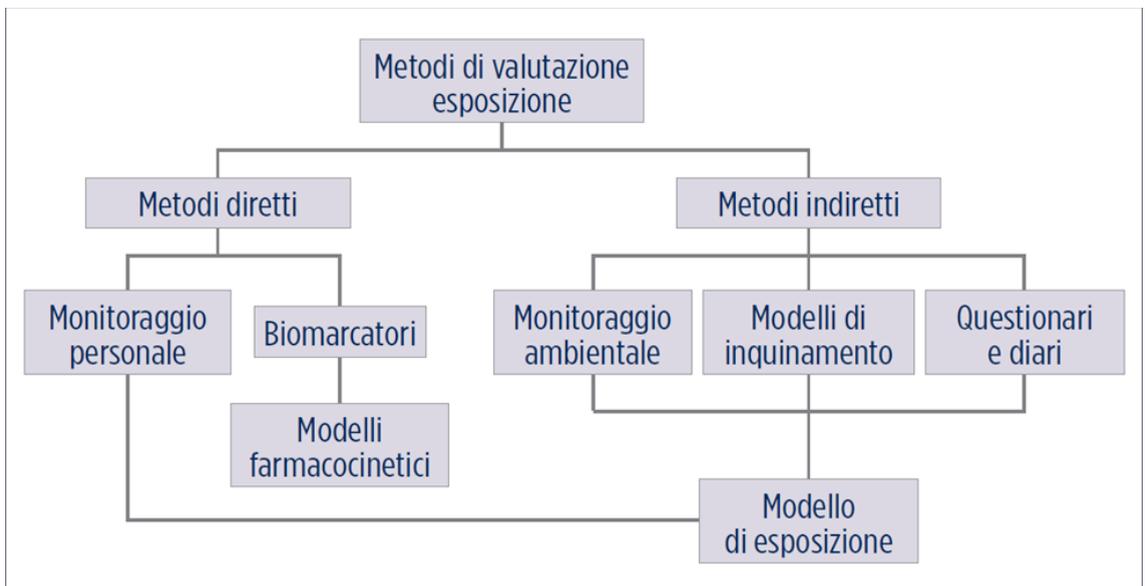


Figura 2.1 Possibili approcci nella valutazione dell'esposizione. Fonte: Ranzi A., 2014 modificato da Research Council, Human Exposure Assessment for Airborne Pollutants: Advances and Opportunities, Washington DC, The National Academies Press, 1991.

I metodi diretti si basano sul monitoraggio della qualità dell'aria indoor e outdoor di tipo statico e di tipo personale e sulla ricerca di bioindicatori su matrici biologiche (*biomarkers* di esposizione) (Ranzi A, 2014). Il monitoraggio della qualità dell'aria mediante campionatori personali consiste nell'uso di dispositivi applicati alla persona che raccolgono campioni di aria nella zona di respirazione e conducono alla misura delle concentrazioni in aria di agenti inquinanti presenti negli ambienti frequentati dall'individuo.

I biomarcatori, o indicatori biologici, invece, sono specifici parametri di misura, biochimici, genetici, immunologici o fisiologici, osservati in sistemi biologici che permettono di quantificare l'esposizione e le conseguenze di una sostanza xenobiotica, cioè di una sostanza estranea alla

normale nutrizione dell'organismo e al suo normale metabolismo (Angelini P, 2011):

Il biomonitoraggio umano, rendendo possibile la misura diretta di un contaminante (o dei suoi metaboliti) nell'organismo ha l'indiscutibile vantaggio, rispetto alla stima dell'esposizione mediante il solo dosaggio ambientale della concentrazione dell'inquinante, di prendere in considerazione processi, talvolta non pienamente compresi, quali il bioaccumulo, l'escrezione, il metabolismo e l'assorbimento, ma non contribuisce a chiarire quando è avvenuta l'esposizione. Allo stesso tempo inoltre, riesce a tener conto di variabili che difficilmente si riuscirebbe a considerare, quali le diverse vie di esposizione e le suscettibilità individuali.

Difficoltà di ordine tecnico-operativo, ma soprattutto limitazioni di carattere economico, dirottano con maggior frequenza la scelta delle valutazioni delle esposizioni sull'utilizzo di approcci indiretti per la stima degli inquinanti nei vari comparti ambientali.

I metodi indiretti consistono in misure surrogate dell'esposizione reale attraverso le quali vengono ricostruiti gli scenari di esposizione a livello ecologico e/o individuale. La determinazione dei livelli ambientali dei contaminanti su recettori localizzati nello spazio, quale ad esempio quella derivata dalle misure delle centraline della rete di monitoraggio urbano, non costituisce, infatti, una misura dell'esposizione della popolazione a tali agenti inquinanti, ma un suo indicatore surrogato (proxy). La validità di tale indicatore nel rappresentare la reale esposizione alle sostanze inquinanti può tuttavia essere condizionata dalla presenza di vari fattori di incertezza, tra i quali: la residenza, che a sua volta è connessa alla tipologia dell'abitazione e alla localizzazione in relazione alle sorgenti di emissione; la mobilità della popolazione e le modalità di trasporto impiegate; il tempo trascorso in ambienti indoor/outdoor; lo stile di vita e le abitudini individuali; le esposizioni lavorative e fattori di carattere generale quali l'età, il genere e lo stato di salute.

La valutazione quantitativa dell'esposizione, oltre ad essere eseguita a partire dalla misura delle concentrazioni ambientali di inquinanti ottenuti dal monitoraggio della qualità dell'aria outdoor effettuato dalle postazioni fisse presenti sul territorio, con la conseguente attribuzione di pari esposizione ad ampi gruppi di popolazione, può essere svolta mediante modelli matematici e statistici. Riguardo questi ultimi negli anni si sono sviluppati approcci sempre più sofisticati nella valutazione dell'esposizione, basati su tecniche modellistiche di tipo deterministico e stocastico che tengono conto di variabili come la temperatura, la direzione dei venti e la variabilità spaziale degli inquinanti in atmosfera.

Tra i diversi modelli utilizzabili, in anni recenti hanno avuto ampio sviluppo i *Land Use Regression models* (LUR), modelli statistici che ricostruiscono la relazione tra caratteristiche del territorio (es. traffico, uso del suolo, densità abitativa) e concentrazioni di inquinanti misurate con campagne ad hoc, consentendo la stima dei livelli di

concentrazione presso gli specifici luoghi in cui la popolazione è esposta. Parallelamente, l'utilizzo di modelli matematici di diffusione e dispersione degli inquinanti (es. diffusione in atmosfera, trasferimento di inquinanti persistenti tra matrici ambientali) può fornire stime quantitative di esposizione a elevata risoluzione spaziale e temporale, ove siano note le caratteristiche delle sorgenti emissive di interesse e i processi chimico-fisici che governano la diffusione degli inquinanti nell'ambiente.

Recentemente sono stati pubblicati da parte dell'Imperial College di Londra i risultati di un vasto studio sull'inquinamento atmosferico a livello continentale sintetizzati in mappe della distribuzione del particolato (PM_{2,5}) e del biossido di azoto (NO₂), con riferimento all'anno 2010 (de Hoogh K, 2016). Le carte diffusionali, rese disponibili alla libera consultazione, rappresentano la concentrazione media annua dei contaminanti in una griglia di celle quadrate con 100 metri di lato. Tale dato di concentrazione può essere utilizzato per una migliore conoscenza dello stato di fondo ambientale, del cosiddetto background, per consentire una valutazione delle esposizioni della popolazione residente anche ai fini di una valutazione di impatto sulla salute.

In alcuni particolari casi, nell'ambito della valutazione delle esposizioni, si fa ricorso anche all'utilizzo di bioindicatori su specie selvatiche direttamente in ambiente o in laboratorio, attraverso esperimenti di esposizione controllata di specie allevate allo scopo (Angelini, 2011). I bioindicatori sono particolarmente importanti nel monitoraggio ambientale e, integrati con determinazioni chimico-analitiche e strumentali, concorrono alla valutazione delle esposizioni contribuendo ad individuare e quantificare l'effetto di un inquinante in organismi sentinella della qualità dei vari comparti ambientali. I bioindicatori sono particolarmente importanti nel monitoraggio ambientale e, integrati con determinazioni chimico-analitiche e strumentali, concorrono alla misura del possibile livello ambientale ma non permettono una valutazione dell'esposizione, contribuendo ad individuare e quantificare l'effetto di un inquinante in organismi sentinella della qualità dei vari comparti ambientali.

In questo lavoro s'intende tratteggiare gli elementi di base per eseguire in maniera sistematica una valutazione dell'esposizione della popolazione che vive o lavora in ambienti dislocati in aree a forte pressione ambientale includendo nell'analisi un elemento generalmente trascurato, ma di estrema rilevanza, quale l'ambiente indoor. L'approccio proposto si basa essenzialmente sull'utilizzo di metodi indiretti e in particolare si farà riferimento a misure di concentrazione di inquinanti (in aria indoor e outdoor) e impiego di modelli.

Lo schema logico proposto si basa su un'analisi a più fasi:

- Caratterizzazione ambientale del sito e proposta di classificazione del livello di vulnerabilità
- Analisi delle sorgenti outdoor presenti nell'area
- Analisi dell'infiltrazione degli inquinanti dall'ambiente outdoor a quello indoor
- Analisi dell'intrusione di vapori dal suolo
- Analisi delle sorgenti indoor
- Metodi di misura in ambiente indoor
- Valutazione sanitaria delle esposizioni in ambiente indoor
- Infine, si mostreranno dei casi studio inerenti la problematica trattata nell'intero documento

2.1 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO E PROPOSTA DI CLASSIFICAZIONE DEL LIVELLO DI VULNERABILITÀ

La caratterizzazione ambientale di un sito, che si identifica con l'insieme delle attività che permettono di ricostruire lo stato di contaminazione a carico delle matrici ambientali, è una condizione necessaria per la corretta valutazione dell'esposizione umana agli inquinanti presenti nell'ambiente.

L'obiettivo finale della caratterizzazione di un sito è quello di definire l'estensione dell'area interessata, le caratteristiche più importanti dell'ambiente naturale e antropizzato, il grado di inquinamento delle diverse matrici ambientali, le vie di esposizione e le

caratteristiche dei bersagli su cui possono manifestarsi gli effetti del potenziale inquinamento.

La valutazione multisorgente dell'esposizione in aree caratterizzate dalla presenza di fonti di pressione ambientale, non può altresì prescindere dalla conoscenza della qualità ambientale dell'area stessa, ovvero dei valori del tenore di fondo naturale (*background*) e soprattutto attuale (*baseline*). Quest'ultimo infatti, oltre a rappresentare la misura della concentrazione naturale degli elementi attualmente presenti in un determinato ambiente, considera anche la presenza di elementi di origine antropica. E' intuitivo che in un contesto caratterizzato dalla presenza di sorgenti multiple di inquinamento, il *baseline* riassume l'insieme delle possibili esposizioni legate alle fonti di pressione ambientale che insistono su un territorio senza poter discernere un singolo contributo sulla misura generale dell'inquinamento complessivo.

Considerato quanto sopra, il primo passo per la caratterizzazione di un sito è finalizzato a individuare e delimitare in modo univoco l'area di interesse sulla quale dovranno essere condotte le successive fasi di indagine. Tale obiettivo è consequenziale alla raccolta di informazioni disponibili e quanto più dettagliate sulle sorgenti di pressione ambientale presenti sull'area stessa per definire il quadro di qualità ambientale e consentire il riconoscimento di una situazione di potenziale contaminazione multisorgente. Le fonti dati che contribuiscono a una migliore conoscenza dell'area di interesse sono riconducibili all'identificazione di tutte le attività antropiche che hanno, o hanno avuto luogo nell'area, come potenziali sorgenti di inquinamento. A supporto di tale ricostruzione potrebbe risultare utile disporre di documentazione storica quale: planimetrie di dettaglio e cartografia rappresentative dell'ubicazione passata di edifici/impianti/reti di servizi e sottoservizi con le varie destinazioni d'uso; rilievi fotografici aerei che permettano una visione del sito e un'analisi prima di eventuali e successive trasformazioni.

La raccolta di informazioni può essere integrata dalla consultazione di documentazione inerente pregressi studi di impatto ambientale e rapporti ambientali predisposti nell'ambito di procedure autorizzative; possono altresì essere di interesse dati di letteratura,

pubblicazioni, report riferiti a studi di impatto condotti in loco o in situazioni analoghe (D.M. 24.04.2013).

Per ciascuna potenziale sorgente d'inquinamento individuata nell'area è importante inoltre identificare i contaminanti emessi; ciò è possibile tramite l'utilizzo di diverse fonti dati come le autodichiarazioni e i rapporti annuali compilati dai gestori, l'inventario delle emissioni in aria (INEMAR), il catasto delle emissioni territoriali (CET); in caso di incompletezza dei documenti citati si potrà ricorrere alla bibliografia internazionale con riferimento ad analoghi impianti (es. *Toxics Release Inventory - Environmental Protection Agency*). All'identificazione delle sostanze emesse dalle singole sorgenti consegue l'individuazione delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche delle stesse mediante la consultazione di fonti dati nazionali (ISS, 2015) e internazionali (WHO, 2005; WHO, 2006; WHO, 2010; EPA, 2017; ATSDR, 2017) dei contaminanti individuati e la valutazione del destino ambientale degli stessi.

Riguardo quest'ultimo punto si farà ricorso ad informazioni derivate dalla modellistica di diffusione e ricaduta degli inquinanti in relazione alle specifiche emissioni.

Nelle condizioni in cui è presente un'area nella quale sono individuabili più sorgenti antropiche di pressione ambientale (ad es. impianti o infrastrutture), la complessità delle valutazioni, strettamente correlate alla realtà del territorio, impone nell'ambito dell'acquisizione dei dati ambientali, di caratterizzare l'area impattata e rilevare le specifiche caratteristiche emissive dell'opera di interesse individuando, nel contempo, le potenziali sorgenti di pressione ambientale che possono contribuire a determinare l'attuale situazione della qualità dell'aria. I processi valutativi dell'esposizione ambientale, quindi, devono sempre far riferimento agli specifici contaminanti emessi dalla singola fonte di pressione oggetto di indagine non dimenticandosi, tuttavia, che generalmente quest'ultima assume solo un ruolo parziale nell'insieme degli inquinanti verosimilmente dovuti alle emissioni complessive dell'area (D.M. 24.04.2013).

Per quanto concerne l'esame della qualità dell'aria in funzione del destino ambientale degli inquinanti emessi da fonti di pressione ambientale le stime modellistiche di diffusione, dispersione e ricaduta delle emissioni

potranno essere integrati da dati rilevati in campagne di misura correntemente acquisiti dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria e, se disponibili, da dati raccolti durante campagne di monitoraggio temporanee effettuate con mezzi mobili.

Proposta di una classificazione di vulnerabilità

La caratterizzazione di un'area impattata dall'inquinamento riconducibile a sorgenti di pressione ambientale deve tenere in considerazione, in particolare, dei cosiddetti siti vulnerabili, ovvero di quei siti in cui sono individuabili recettori sensibili.

Al fine di fornire una proposta operativa per la valutazione della vulnerabilità di un'area con tali caratteristiche, in questa sede, per la definizione di sito vulnerabile, si farà esplicito riferimento alla definizione di "recettore sensibile" viene fatto esplicito riferimento a quanto indicato nelle 'Linee guida elaborate da ARPA Puglia per il rilascio di pareri riguardanti le emissioni in atmosfera prodotte dagli impianti di depurazione'. Lo stesso documento riporta una possibile classificazione dei recettori sensibili individuando quest'ultimi come:

- qualsiasi edificio pubblico o privato adibito ad ambiente abitativo, a degenza o cura, a formazione e studio o ad attività lavorativa o ricreativa;
- parchi pubblici e aree esterne destinate ad attività ricreative e allo svolgimento della vita sociale della collettività;
- aree territoriali edificabili già individuate dai vigenti strumenti urbanistici e loro varianti.

Escludendo dall'analisi le aree territoriali edificabili, è possibile ipotizzare una classificazione in quattro differenti gradi di sensibilità (elevata E, alta A, media M, bassa B) come indicato in tabella 2.1.

Tabella 2.1. Proposta di classificazione dei recettori sensibili in gradi di sensibilità: elevata E, alta A, media M, bassa B

Tabella 2.1. Proposta di classificazione dei recettori sensibili in gradi di sensibilità: elevata E, alta A, media M, bassa B	
RECETTORE	CLASSI
Aree ricreative	A
Scuole	E
Insedimenti industriali	B
Insedimenti agricoli	B
Insedimenti commerciali	A
Ospedali	E
Porti – aeroporti	M
Tessuto residenziale continuo	E
Tessuto residenziale discontinuo	E
Tessuto residenziale rado - nucleiforme	A
Tessuto residenziale sparso	M

Le fasce di distanza dal confine dell'impianto problematico considerato potrebbero essere ripartite in: 0-50 m, 50-100 m, 100-150 m, 150-250 m, 250-500 m, 500-1000 m e 1000-2000 m.

Tenendo conto di quanto sopra riportato, nella valutazione della vulnerabilità di un'area, nella quale sono stati evidenziati particolari tipologie di recettori (vedi tabella 2.1), una proposta di algoritmo per la ponderazione della loro suscettibilità può essere rappresentata dalla seguente relazione:

$$\text{recettori}_{i,k} = \sum_{i,j} s_i * p_j * s_{ijk}$$

con

s_i = coefficiente di sensitività per il recettore di classe assunto pari a 1 per classe E, 0.8 per classe A, 0.6 per classe M, 0.4 per classe B

p_j = peso per le diverse classi di distanza assunto pari ad 1 per la classe 0-50 m, 0.99 per la classe 50-100 m, 0.98 per la classe 100-150 m, 0.95 per la classe 150-250 m, 0.9 per la classe 250-500 m, 0.8 per la classe 500-1000 m e 0.6 per la classe 1000-2000 m

s_{ijk} = superficie occupata dal recettore di classe i nel buffer j per l'impianto k [ha].

2.2 ANALISI DELLE SORGENTI OUTDOOR

Nella valutazione dell'esposizione della popolazione in ambienti indoor dislocati in aree a forte pressione ambientale, è prima di tutto necessario individuare le criticità ambientali associate all'inquinamento dell'aria outdoor (Leung DYC, 2015). Le sorgenti di inquinamento outdoor sono di vario tipo e distribuite diversamente nei differenti contesti ambientali; a seconda dei luoghi, infatti, data la grande differenza che caratterizza il numero e la densità delle stesse, è estremamente variabile il contributo derivato da tali fonti alle concentrazioni ambientali degli inquinanti emessi. Ulteriore motivo di diversità tra le varie fonti di inquinamento outdoor, specie se di carattere industriale, oltre al dato logistico, è inerente la loro progettazione, in particolare per quanto concerne l'alimentazione dei sistemi energetici e l'efficacia della tecnologia di controllo e di abbattimento delle emissioni (IARC, 2016).

Una prima classificazione delle sorgenti outdoor che possono condurre ad un'alterazione della composizione e delle caratteristiche chimico-fisiche dell'aria ambiente viene effettuata tra le sorgenti naturali, delle quali le eruzioni vulcaniche e le attività geotermiche ne

costituiscono alcuni esempi, e antropiche, ovvero quelle connesse alle attività umane.

Un'altra forma di distinzione è quella che contraddistingue le sorgenti emissive in primarie, secondarie e di re-immissione. Le prime sono da ricollegare a emissioni dirette provenienti da una fonte di inquinamento atmosferico. Le sorgenti secondarie sono quelle in cui si verifica la formazione dell'inquinante nell'atmosfera dalla reazione chimica dei precursori emessi dalle fonti primarie di inquinamento (particolato secondario); l'inquinamento da re-immissione, infine, è quello che risulta dal risollevarsi dagli inquinanti primari o secondari che si depositano sulle superfici terrestri o acquatiche.

Nell'ambito di questa classificazione, gli inquinanti atmosferici possono venire suddivisi in modo non univoco all'interno delle varie categorie, tuttavia a seconda dei diversi contesti ambientali, la loro differenziazione può essere di aiuto nel fornire informazioni circa il gradiente di esposizione della popolazione. A tal riguardo, occorre infatti osservare che le sorgenti secondarie e di re-immissione, rispetto alle sorgenti primarie, a causa dei processi fisici che controllano le loro emissioni, tendono ad assumere piccoli gradienti di concentrazione nel tempo e nello spazio (IARC, 2016).

Le sorgenti primarie possono altresì essere ulteriormente suddivise in puntiformi, mobili e di area. Le sorgenti puntiformi sono rappresentate da fonti emissive localizzate e la diffusione dei contaminanti nello spazio è influenzata dalle caratteristiche dell'emissione e dalle condizioni meteorologiche. Le fonti mobili sono associate al trasporto e, specie in contesti urbani, la diffusione degli inquinanti si presenta omogenea in relazione alla rete stradale. Le sorgenti di area sono identificabili in quelle fonti con contributi emissivi caratterizzati da ampia diffusione, relativamente costante nello spazio ma variabile nel tempo (IARC, 2016).

Per quanto concerne le sorgenti antropiche, l'attenzione va rivolta in modo prioritario agli inquinanti atmosferici legati all'ambiente urbano, in particolare a causa delle elevate concentrazioni di attività emissive in uno spazio limitato. La diffusione in atmosfera e la conseguente esposizione della popolazione agli inquinanti

aerodispersi è fortemente condizionata dai cambiamenti temporali delle emissioni su cui, a loro volta, influiscono notevolmente le variazioni meteorologiche. Le caratteristiche morfologiche dei centri urbani, unitamente all'azione di fattori meteorologici, possono favorire l'accumulo di molti degli inquinanti generati dalle sorgenti antropiche, raggiungendo talvolta elevati livelli di concentrazione e innescando la formazione di ulteriori inquinanti mediante trasformazioni chimiche (Sarno G, 2013).

Tra le sorgenti antropiche che contribuiscono in modo rilevante all'inquinamento outdoor vengono individuate in particolare: il traffico veicolare, il riscaldamento domestico e le attività industriali; tutt'altro che trascurabili risultano inoltre gli apporti all'inquinamento ambientale dovuti all'attività agricola, alla combustione di biomassa e alle forme di risollevarsi del particolato (ISPRA, 2016).

Traffico veicolare

Il settore del trasporto su strada rimane rilevante sul totale delle emissioni di inquinanti atmosferici sebbene nelle ultime decadi abbia fatto registrare importanti progressi, dovuti fondamentalmente ai miglioramenti tecnologici legati all'introduzione degli standard emissivi e, in misura minore, anche a provvedimenti finanziari e ai carburanti alternativi, nonché al contenimento della domanda di trasporto (EEA, 2016). Le stime complessive relative alle percorrenze totali su strada (espresse in veicoli-km) evidenziano un trend altalenante con un andamento nettamente in crescita fino al 2007 seguito da una importante diminuzione negli anni successivi, verosimilmente legato alla riduzione dei consumi come effetto della crisi economica, e quindi da un più recente nuovo lieve incremento dello stesso (ISPRA, 2016).

Per cercare di caratterizzare le tipologie di fonti emissive all'interno della sorgente trasporto su strada, si rileva che negli anni si è verificata la drastica decrescita delle percorrenze dei veicoli a benzina bilanciata dall'aumento delle percorrenze dei veicoli diesel e, in minor misura, dei veicoli alimentati a carburanti alternativi, quali GPL e gas naturale; nell'ambito delle percorrenze totali fanno

ancora registrare un peso non significativo le autovetture ibride e quelle alimentate a miscele di etanolo-benzina (E85) (ISPRA, 2016).

In molte aree le emissioni di veicoli rappresentano la fonte dominante degli inquinanti atmosferici, tra cui monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO₂), composti organici volatili (VOC), ossidi di azoto (NO_x) e particolato (PM). Il traffico congestionato delle aree urbane e il conseguente incremento delle emissioni dei veicoli hanno un impatto notevole sul degrado della qualità dell'aria; questa considerazione trova il supporto scientifico dei risultati di studi epidemiologici che hanno mostrato eccessi di mortalità e di morbosità in conducenti, pendolari e individui che vivono vicino a importanti assi stradali (Zhanga K, 2013).

Studi di letteratura identificano una serie innumerevole di sostanze che possono essere rappresentate all'interno del macrogruppo dei composti organici potenzialmente emessi nell'ambiente da sorgenti legate al traffico stradale. Il gruppo degli idrocarburi policiclici aromatici, di cui fanno parte inquinanti altamente tossici, alcuni dei quali anche cancerogeni, è quello ritenuto maggiormente rappresentativo di questa classe di inquinanti. Le fonti di emissioni di tali inquinanti, sotto forma di particolato e di gas di scarico, associabili al traffico veicolare sono numerose; sono inclusi in esse i materiali utilizzati nella cura e nell'assemblaggio dei veicoli quali carrozzerie, pneumatici e componenti dei motori, nonché le superfici, la segnaletica, le barriere e i divisorii stradali. La maggior produzione e accumulo di tali inquinanti sulle superfici stradali è da mettere in relazione a fattori legati sia al traffico, come la velocità e la numerosità dei veicoli, sia a fattori non direttamente collegati ad esso, come la presenza di periodi di siccità, la durata e l'intensità delle piogge e la frequenza del lavaggio delle strade (Markiewicz A, 2017).

Oltre al trasporto su strada, principale responsabile delle emissioni, anche i trasporti aereo, navale e ferroviario sono meritevoli di attenzione in quanto, seppur in modo più limitato, apportano comunque un loro importante contributo al quadro generale dell'inquinamento atmosferico (EEA, 2016).

Riscaldamento domestico

Tra le sorgenti primarie che concorrono alla determinazione dell'inquinamento atmosferico un posto di primo piano spetta al riscaldamento domestico. Le emissioni generate dalla combustione di biomasse solide, come la legna, impiegate per il riscaldamento in ambito residenziale (camini, stufe, ecc.), costituiscono nel loro insieme una sorgente di rilevante impatto sull'inquinamento atmosferico. Il contributo di questa sorgente è considerevole non solo nelle aree montane e rurali, ove l'uso della legna per riscaldamento è particolarmente diffuso, ma anche nelle aree urbane (ISPRA, 2016). Diversi studi hanno evidenziato che negli ultimi anni, soprattutto nella stagione invernale e nei grandi centri urbani, motivazioni di carattere economico hanno favorito un maggiore utilizzo della biomassa come combustibile residenziale, in parziale sostituzione di altri combustibili meno impattanti di uso più comune (Fuller GW, 2014; Saffari A, 2013). I principali inquinanti atmosferici prodotti dalla combustione della legna sono il particolato, il monossido di carbonio, i composti organici volatili e in particolare gli idrocarburi policiclici aromatici. Di importanza rilevante per gli impatti sulla salute umana risultano il particolato atmosferico e il benzo(a)pirene tra gli idrocarburi policiclici aromatici, sostanze che l'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro (IARC) ha inserito nell'elenco dei cancerogeni di gruppo 1, ovvero degli agenti cancerogeni certi per l'uomo (IARC, 2016; IARC, 2012; ISPRA, 2016). L'andamento temporale delle emissioni derivate da questa sorgente di inquinamento è caratterizzato da una forte stagionalità, con valori che diminuiscono drasticamente fin quasi ad annullarsi avvicinandosi all'estate e molto elevati durante l'inverno quando, in alcuni contesti, il riscaldamento può arrivare a fornire il contributo più rilevante alla massa del particolato. Nei centri urbani di grandi dimensioni, dove le sorgenti di particolato sono molteplici, i contributi predominanti sono infatti dovuti oltre che alla ben nota sorgente legata ai trasporti anche agli impianti di riscaldamento, con percentuali variabili da regione a regione, in funzione delle peculiarità territoriali. Nelle località montane appare evidente come gli impianti di riscaldamento siano i maggiori responsabili delle emissioni di PM₁₀, con contributi che arrivano fino al 90% (ISPRA, 2016).

I sistemi di riscaldamento che non vengono alimentati con biomasse legnose, ma che sfruttano ad esempio gasolio o olio combustibile portano al rilascio nell'ambiente di particolato, CO₂ e black carbon, contribuendo anch'essi all'inquinamento atmosferico. Allo stesso modo, contribuiscono all'inquinamento outdoor anche i sistemi di riscaldamento che utilizzano gas naturali o combustibili a gas di petrolio liquefatto emettendo nell'ambiente, seppur in forma più contenuta, particolato, CO₂ e bassissime quantità di black carbon (WHO, 2012).

Attività industriali

La produzione e la trasformazione industriale con le emissioni in atmosfera legate ai propri cicli lavorativi, influiscono in modo determinante sull'inquinamento atmosferico. Le emissioni degli agenti inquinanti di derivazione industriale e la loro dispersione in atmosfera e conseguente diffusione e ricaduta al suolo, possono differenziarsi a seconda delle peculiarità geografiche e meteorologiche, della concentrazione degli impianti e della tipologia di produzione. Nel corso degli ultimi decenni, l'evoluzione tecnologica applicata alle fasi produttive e di trasformazione, insieme al recepimento e all'attuazione delle disposizioni normative sulla prevenzione e il controllo integrato dell'inquinamento, nonché dell'adeguamento progressivo delle attività industriali all'applicazione delle migliori tecniche disponibili (BAT), ha comportato una rilevante riduzione delle emissioni dei diversi inquinanti legati all'attività industriale (Perrone M, 2011). Nonostante i notevoli progressi ottenuti nell'ambito della riduzione dell'inquinamento di origine industriale, i risultati raggiunti non sono tuttavia sempre soddisfacenti tanto che la IARC, di recente, ha voluto richiamare l'attenzione dei decisori di tutti i paesi del mondo, per invitarli a prendere seri e definitivi provvedimenti in favore della salute delle persone, soprattutto di quelle che vivono nelle aree urbane e nelle aree ad intensa industrializzazione (ISPRA, 2016).

I miglioramenti più significativi si sono ottenuti nel caso del biossido di zolfo (SO₂), collegato in passato ai combustibili utilizzati in modo diffuso oltre che nei

processi industriali, anche nel riscaldamento degli edifici e nei trasporti. Per quanto concerne il comparto industriale, grazie ad azioni di riduzione del contenuto di zolfo nei combustibili, utilizzati per la produzione di calore, vapore, energia elettrica e altro, quali ad esempio gasolio, nafta, carbone e legna, le concentrazioni di SO₂ nell'aria sono diminuite fino ad arrivare ai livelli odierni, ben inferiori in generale ai limiti normativi (ISPRA 2016; Pessina V, 2001).

Riguardo gli inquinanti atmosferici più comuni, industrialmente l'ossido di carbonio (CO) è contenuto negli effluenti gassosi degli impianti di produzione dei gas di sintesi per la produzione di idrogeno, metanolo e nella rigenerazione dei catalizzatori.

Gli ossidi di azoto (NO_x) possono essere emessi essenzialmente dagli impianti termoelettrici, da altri impianti in cui sono presenti processi di combustione (incenerimento dei rifiuti, ecc.), da alcuni impianti quali quelli che producono acido nitrico, quelli che lavorano composti azotati e che utilizzano direttamente l'acido nitrico come composto base come per la produzione di fertilizzanti, acido adipico, nylon, ecc..

L'ozono (O₃) è un inquinante secondario, ovvero non viene direttamente immesso in atmosfera ma si forma per reazioni tra composti definiti precursori. Il principale meccanismo di produzione dell'ozono è costituito dal processo chimico-fisico che da origine allo smog fotochimico; tali fenomeni si presentano generalmente nelle aree urbane interessate da intenso traffico di autoveicoli e nelle regioni intensamente industrializzate, specie con presenza di industrie petrolchimiche. Esistono tuttavia anche casi di inquinamento fotochimico in aree rurali, a causa del trasporto degli inquinanti dovuto ai venti, dalle aree metropolitane e dalle zone ad alta industrializzazione. L'ozono pertanto non esplica i suoi potenziali pericoli solo all'interno di zone ad elevato inquinamento ma può essere responsabile di problemi anche in zone potenzialmente non interessate direttamente dall'inquinamento atmosferico.

Per quanto riguarda l'introduzione di composti organici da parte dell'uomo si può affermare che, sebbene la fonte maggiore sia individuabile nel traffico autoveicolare, un importante contributo in tal senso è anche riconducibile all'attività industriale. Nei processi

industriali le maggiori fonti di composti organici sono derivanti dai processi di verniciatura e dalla produzione di monomeri per l'industria delle materie plastiche e alle industrie collegate alla produzione e utilizzo dell'etilene. Non sono inoltre da ritenere trascurabili i contributi derivanti dai processi di lavaggio tessuti e sgrassaggio di particolari da sottoporre ad un successivo processo di verniciatura. Risulta invece modesto nei fumi di combustione delle centrali termiche il contributo all'inquinamento atmosferico in idrocarburi incombusti, o parzialmente combusto sotto forma di aldeidi o acidi organici (Pessina V, 2001).

Il particolato atmosferico connesso alle attività industriali è un materiale alquanto eterogeneo per composizione chimica, variabile nel tempo e nello spazio, per diversità delle dimensioni, da pochi nm a qualche μm , e per differente origine, talvolta somma di diversi e molteplici contributi di sorgente (Kelly FJ, 2012).

L'industria di produzione dell'acciaio è riconosciuta come una delle industrie potenzialmente più inquinanti per gli impatti sull'aria (emissioni di polveri fini, metalli pesanti, PCDD/F, IPA, ossidi di azoto), sulle acque superficiali e sotterranee (metalli, idrocarburi), per la produzione di rifiuti pericolosi (scorie, polverino da trattamento fumi, scaglie di laminazione, fanghi da trattamento acque) e per il consumo di energia.

All'industria dell'acciaio, inoltre, sono più o meno direttamente collegate altre attività industriali; i prodotti delle acciaierie sono infatti ampiamente utilizzati in vari ambiti produttivi, tra cui l'edilizia, la meccanica, l'*automotive*, la produzione di elettrodomestici, la cantieristica navale, i trasporti (ISPRA, 2016).

Gli impatti delle emissioni delle sorgenti industriali possono essere elevati sia per la frequente stretta prossimità degli stabilimenti che per la particolare urbanizzazione dei territori di insediamento, che risultano in certi casi densamente abitati. Spesso inoltre nelle stesse aree industriali sono presenti più impianti, potenzialmente significativi per gli impatti ambientali, che rendono complessa l'attribuzione delle alterazioni della qualità dell'aria ambiente con i tradizionali monitoraggi effettuati con le centraline, ma richiedono studi specifici con l'integrazione di varie tecniche di campionamento e

analisi come la "fence-line monitoring" per la caratterizzazione chimica del particolato campionato ai recettori (Perrone M, 2011).

Attività agricola e combustione di biomassa

Tra le attività antropiche a cui può essere ricondotto un impatto rilevante in termini di emissioni sull'ambiente circostante rientra anche la pratica agricola. L'agricoltura concorre alla formazione del particolato primario emesso dai macchinari agricoli che, a loro volta, contribuiscono al risollevarlo delle polveri dal suolo. Le attività agricole e zootecniche, a causa dell'intensificazione delle stesse e alla diffusione dell'uso dei fertilizzanti azotati, hanno un impatto sulla qualità dell'aria anche attraverso l'emissione diretta di sostanze chimiche quali l'ammoniaca e altre specie gassose (Warner, 2016). Le emissioni di ammoniaca possono inoltre partecipare anche alla composizione di particolato secondario in quanto, combinandosi con il biossido di zolfo e con gli ossidi di azoto provenienti dalle combustioni in genere e dal traffico in particolare, portano alla formazione di nitrato d'ammonio e solfato d'ammonio in fase particolato. All'impatto esercitato dall'agricoltura sull'ambiente contribuisce inoltre la combustione libera e incontrollata di biomasse legnose riconducibili fondamentalmente all'abbruciamento di stoppie, paglie, potature e di residui agricoli e forestali in genere. L'inquinamento originato dalla combustione all'aperto delle biomasse e/o dei residui agricoli dipende dalla tipologia di materiale (ad esempio componente vegetale e/o legnosa) e dal suo contenuto di umidità. Tale pratica comporta rilevanti emissioni in atmosfera di polveri sottili, biossido di zolfo, anidride carbonica, ammoniaca, composti azotati e metanici, nonché di altre sostanze che derivano dalla combustione incompleta quali il monossido di carbonio e sostanze organiche tossiche come diossine, furani e idrocarburi policiclici aromatici, soprattutto benzo(a)pirene. La combustione delle biomasse nella pratica agricola, avvenendo al suolo, comporta una dispersione limitata in atmosfera degli inquinanti generati durante il processo e rappresenta pertanto un fenomeno circoscritto con ricadute prettamente locali. Un cenno a parte merita il fatto che le

pressioni esercitate sull'ambiente dall'agricoltura non si limitano ad un contributo all'inquinamento atmosferico, ma si estendono anche alle altre matrici ambientali, basti pensare all'apporto di nitrati nei corpi idrici e al contributo della contaminazione del suolo derivato da sostanze come i fitofarmaci o altri inquinanti emergenti (ISPRA, 2016).

Risollevamento di particolato

Nell'ambito della classificazione delle sorgenti di inquinamento outdoor viene citato anche il risolleamento del particolato che, a sua volta, può esser dovuto al contributo sinergico di diverse sorgenti presenti in un'area e può essere di origine primaria o secondaria. Gli inquinanti primari, infatti, una volta immessi direttamente nell'atmosfera, sotto l'influenza dei vari fattori meteorologici, si trasformano chimicamente in altri composti gassosi o formano aggregati molecolari che aumentano progressivamente di dimensioni, formando il materiale particolato (PM). Alla produzione di particolato da parte delle fonti di pressione antropica di un territorio corrisponde la risposta dell'atmosfera con il trasporto, la diffusione e la dispersione delle sostanze inquinanti. Il rimescolamento e il trasporto dei gas e delle polveri da parte dei venti e della turbolenza atmosferica comportano una diluizione e una distribuzione degli inquinanti in aree anche molto distanti dalle zone di emissione a cui consegue una loro deposizione alla superficie. Come conseguenza della continua variazione nello spazio e nel tempo del complesso dei fattori meteorologici (temperatura, umidità, vento, turbolenza, radiazione solare, precipitazioni, ecc.) la concentrazione degli inquinanti depositati al suolo può variare nello spazio e nel tempo.

Il risolleamento può trarre origine da processi naturali come il vento ma può anche derivare da processi antropici quali ad esempio il traffico veicolare, la movimentazione di mezzi agricoli o le aree di cantiere (ISPRA, 2016).

2.3 ANALISI DELL'INFILTRAZIONE INDOOR DEGLI INQUINANTI ATMOSFERICI

L'infiltrazione degli inquinanti dall'ambiente outdoor all'ambiente indoor rappresenta un elemento centrale nell'ambito della valutazione dell'esposizione della popolazione. Questo è ancor più vero in generale in relazione alla quantità di tempo che le persone trascorrono all'interno di ambienti confinati (più del 90% secondo i dati di letteratura) e lo è in una dimensione amplificata in considerazione dello specifico contesto analizzato in questo report, e cioè quello di siti sensibili in prossimità di impianti a forte impatto ambientale.

La penetrazione degli inquinanti negli ambienti indoor avviene secondo diverse modalità. Un primo aspetto da considerare è sicuramente la penetrazione attraverso porte e infissi (attraverso punti quindi dove l'involucro dell'edificio non è stagno) ma altrettanto importanti sono la ventilazione volontaria naturale (apertura o chiusura delle finestre) e quella forzata (per mezzo di appositi meccanismi come ad es. estrattori d'aria, ventilatori e sistemi di ricircolo di varia natura⁵). Esiste poi un altro elemento spesso poco considerato che riguarda la penetrazione di alcuni inquinanti dal sottosuolo (*vapour intrusion*). Quest'ultimo aspetto sarà trattato dettagliatamente nel paragrafo successivo.

Prima però di affrontare gli aspetti più legati alla qualità dell'aria indoor verrà introdotta la definizione di tasso di ricambio dell'aria, parametro che influenza in modo determinante la capacità degli inquinanti di penetrare negli ambienti confinati.

Tasso di ricambio dell'aria

Il parametro usualmente utilizzato per quantificare quanto un ambiente indoor scambi aria con l'aria esterna è l'AER (*Air Exchange Rate - chiamato anche ACH, Air Change per Hour*). Tale parametro rappresenta il volume di aria scambiato con l'esterno nell'unità di tempo. Usualmente è espresso in volumi/ora e va interpretato come il numero di ricambi dell'aria contenuta

⁵ quest'ultimo aspetto non verrà trattato in questo report non solo in quanto poco diffuso, sia negli edifici residenziali che in

quelli pubblici, ma anche perché rappresenta un settore con problematiche molto specifiche

nell'ambiente considerato in un'ora. Un AER pari a 0.5 significa quindi che l'ambiente indoor in 2 ore ricambia l'intero volume di aria in esso contenuto. Nella tabella 1 sono riportate alcune statistiche descrittive dei livelli di AER misurati nelle diverse stagioni e aree climatiche degli Stati Uniti (EPA, 1997).

Si evidenzia come esistano differenze significative nei tassi di ricambio dell'aria misurati sia nelle diverse aree geografiche che nelle diverse stagioni. Questa variabilità è da addebitare alla dipendenza del tasso di ricambio dell'aria dalle tecniche costruttive utilizzate per le abitazioni, dalla differenza di temperatura tra interno e esterno degli edifici, dalla ventosità dell'area e dalle abitudini delle persone nell'arieggiare gli ambienti. Una esaustiva rassegna dei tassi di ricambio dell'aria tipici delle abitazioni in Europa può essere trovata in Dimitroulopoulou (2012).

Esistono diversi approcci teorici e software di calcolo per stimare il tasso di ricambio dell'aria in funzione dei diversi parametri sopra elencati (Breen et al, 2014). In questa breve trattazione ci soffermeremo però solo sulla parte sperimentale, su come stimare cioè l'AER tramite campagne di misura.

Il metodo più comunemente utilizzato è quello che si basa sull'uso di gas traccianti. La dotazione sperimentale richiesta per lo svolgimento delle misurazioni consiste

essenzialmente in una bombola contenente un gas idoneo ad essere utilizzato come tracciante (quindi non tossico e molto poco reattivo) ed un analizzatore della concentrazione del gas. In particolare il metodo si basa sull'analisi del decadimento della concentrazione. Una piccola quantità di gas tracciante viene diffusa nell'ambiente. La sorgente di gas tracciante viene quindi rimossa e si inizia la misura del decadimento della concentrazione del gas tracciante nel tempo. Rappresentando in un diagramma il logaritmo naturale della concentrazione del gas tracciante in funzione del tempo, si ottiene una linea retta la cui pendenza rappresenta il numero di ricambi d'aria dell'ambiente:

$$AER = \frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_t}\right)}{\Delta t}$$

dove C_0 e C_t rappresentano le concentrazioni al tempo 0 e al tempo t e Δt rappresenta l'intervallo di misura espresso in ore. I gas normalmente utilizzati come traccianti sono l'anidride carbonica (CO_2) e l'esaffluoruro di zolfo (SF_6), entrambi, a basse concentrazioni, trasparenti, privi di odore, non-tossici e non- infiammabili

Table 17-11. Distributions of Residential Air Exchange Rates* by Climate Region and Season									
Climate Region	Season	Sample Size	Arithmetic Mean	Standard Deviation	Percentiles				
					10th	25th	50th	75th	90th
Coldest	Winter	161	0.36	0.28	0.11	0.18	0.27	0.48	0.71
	Spring	254	0.44	0.31	0.18	0.24	0.36	0.53	0.80
	Summer	5	0.82	0.69	0.27	0.41	0.57	1.08	2.01
	Fall	47	0.25	0.12	0.10	0.15	0.22	0.34	0.42
Colder	Winter	428	0.57	0.43	0.21	0.30	0.42	0.69	1.18
	Spring	43	0.52	0.91	0.13	0.21	0.24	0.39	0.83
	Summer	2	1.31	--	--	--	--	--	--
	Fall	23	0.35	0.18	0.15	0.22	0.33	0.41	0.59
Warmer	Winter	96	0.47	0.40	0.19	0.26	0.39	0.58	0.78
	Spring	165	0.59	0.43	0.18	0.28	0.48	0.82	1.11
	Summer	34	0.68	0.50	0.27	0.36	0.51	0.83	1.30
	Fall	37	0.51	0.25	0.30	0.30	0.44	0.60	0.82
Warmest	Winter	454	0.63	0.52	0.24	0.34	0.48	0.78	1.13
	Spring	589	0.77	0.62	0.28	0.42	0.63	0.92	1.42
	Summer	488	1.57	1.56	0.33	0.58	1.10	1.98	3.28
	Fall	18	0.72	1.43	0.22	0.25	0.42	0.46	0.74

* In air changes per hour
Source: Murray and Burmaster, 1995.

Figura 2.2 Tasso di ricambio dell'aria (aer) per regioni climatiche e stagioni negli Stati Uniti.

Infiltrazione, penetrazione e rapporto indoor/outdoor

L'andamento delle concentrazioni indoor di un inquinante dipende da tanti fattori tra cui la penetrazione dell'inquinamento dall'esterno, le sorgenti interne, la deposizione dell'inquinante sulle varie superfici presenti nell'ambiente (pavimento, pareti, arredi, piante), la trasformazione chimica o chimico-fisica dell'inquinante anche a causa del contatto con altri composti chimici presenti nell'aria o nelle superfici. Trascurando, per il momento, quest'ultimo aspetto è possibile schematizzare tutti questi processi tramite la seguente formula (Diapouli et al., 2013)

$$\text{con} \quad \frac{dC_{in}}{dt} = a \cdot P \cdot C_{out} - (a + k) \cdot C_{in} + \frac{Q_{is}}{V} \quad (1)$$

e = concentrazioni indoor e outdoor dell'inquinante considerato

a = tasso di ricambio dell'aria (h-1)

P = parametro adimensionale legato all'efficienza di penetrazione

k = tasso di deposizione (h-1)

V = volume dell'ambiente indoor considerato (m³)

Q_{is} = tasso di emissione dell'inquinante a causa della presenza di sorgenti indoor (mg/h).

L'equazione (1) ipotizza un perfetto rimescolamento all'interno dell'ambiente indoor e non considera variazioni di concentrazione legate a transizioni di fase per le specie condensabili né, per quanto riguarda il particolato, altri fenomeni legati al ricombinarsi e alla risospensione delle particelle.

In condizioni stazionarie l'equazione (1) può essere espressa nella seguente forma

$$C_{in} = P \frac{a}{a+k} C_{out} + \frac{Q_{is}}{(a+k)V} = P \frac{a}{a+k} C_{out} + C_{ig} \quad (2)$$

dove rappresenta la concentrazione dell'inquinante considerato dovuto alle emissioni delle sorgenti indoor.

Nel caso poi in cui le sorgenti indoor siano assenti o possano essere considerate trascurabili l'equazione (1) si semplifica ulteriormente assumendo la forma

$$C_{in} = P \frac{a}{a+k} C_{out} \quad (3)$$

Il coefficiente che lega e è chiamato fattore di infiltrazione (F_{inf}) e rappresenta la frazione di equilibrio dell'inquinante considerato che penetra indoor e rimane in sospensione.

In assenza di sorgenti indoor F_{inf} è equivalente al rapporto indoor/outdoor (I/O) mentre in caso di presenza di sorgenti indoor F_{inf} diventa uguale a

$$F_{inf} = \frac{C_{in} - C_{ig}}{C_{out}} \quad (4)$$

In condizioni stazionarie (ottenibili ragionevolmente considerando per esempio un intervallo di tempo sufficientemente lungo) è possibile stimare il fattore di infiltrazione come la pendenza della retta di regressione tra le concentrazioni indoor e outdoor dell'inquinante. In caso di assenza di sorgenti indoor tale retta dovrebbe in via teorica passare per l'origine degli assi mentre in presenza di sorgenti indoor l'intercetta rappresenta la quota di concentrazioni indoor attribuibile alle sorgenti indoor.

Si evidenzia che il fattore di infiltrazione include nella sua definizione diversi concetti e in particolare sia la propensione dell'inquinante a penetrare nell'ambiente indoor considerato, sia tendenza a interagire come le superfici dell'ambiente stesso. Da questo punto di vista il coefficiente di penetrazione rappresenta una grandezza legata in modo più specifico alla capacità dell'inquinante di penetrare attraverso l'involucro dell'edificio.

Per quanto riguarda la deposizione, in generale è possibile dire che essa dipende da diversi fattori: regime del movimento dell'aria (laminare o turbolento), la temperatura dell'aria, la temperatura delle superfici, l'umidità relativa interna, la presenza di condensa sulla superficie. I meccanismi di base che soggiacciono al fenomeno sono principalmente la diffusione molecolare browniana, la termoforesi, il flusso idrodinamico di Stefan, la sedimentazione gravitazionale.

A seconda dell'inquinante considerato il peso dei diversi fattori (reattività, penetrazione, deposizione) varia in modo considerevole. Per i gas per esempio la deposizione per gravità rappresenta un contributo totalmente assente mentre la deposizione per contatto è estremamente variabile in funzione delle specifiche tipologie di superfici presenti nell'ambiente indoor (pareti, arredi e piante) e dell'inquinante considerato. Ancora più complessa è il quadro legato al particolato per il quale la composizione chimica è variabile e spesso non completamente conosciuta, e i fenomeni legati alle diverse classi dimensionali significativamente diversi.

Non essendo qui possibile dare un quadro esaustivo di tutte le possibili situazioni e di tutti i possibili inquinanti verranno riportati solo alcuni esempi tratti dalla letteratura. L'intento è quello di fornire elementi di comprensione dei diversi fenomeni che possano risultare utili per affrontare problemi pratici e specifici.

Una prima esemplificazione dei concetti sopra espressi può essere data rispetto all'ozono (O_3), un inquinante di pressoché esclusiva provenienza outdoor. Per questo inquinante, come per la quasi totalità degli inquinanti gassosi, il coefficiente di penetrazione può essere considerato prossimo all'unità in quanto si ritiene che un composto gassoso abbia la stessa facilità di penetrare negli ambienti chiusi rispetto agli altri gas che compongono l'atmosfera. Quanto detto però non implica che le concentrazioni indoor e outdoor dell'ozono siano uguali. Una volta penetrato negli ambienti chiusi infatti

l'ozono reagisce con i materiali presenti (materiali da costruzione, vernici, piante, ma anche con la pelle umana e il vestiario). Diverse indagini internazionali hanno evidenziato come questa reattività chimica porti ad una drastica diminuzione delle concentrazioni indoor con rapporti I/O generalmente inferiori a 0.2. Comportamenti analoghi hanno gli altri gas inquinanti sebbene con una forte specificità legata alla reattività chimica tra l'inquinante stesso e i materiali presenti negli ambienti indoor. Una esemplificazione delle rilevanti differenze di reattività tra l'NO₂ e l'O₃ e tra ciascuno di essi e i vari materiali può essere trovato in Grontoft e Raychaudhuri (2004). Altre considerazioni sarebbero poi da aggiungere nel caso in cui l'inquinante o gli inquinanti

considerati siano reattivi anche in fase omogenea (in genere in fase gas).

Molto interessante, e per diversi aspetti più complesso, è il caso del particolato. In questo contesto infatti alle difficoltà legate all'interazione tra gli inquinanti e le superfici si aggiungono due elementi di notevole importanza: la dimensione delle singole particelle, che varia di diversi ordini di grandezza, e la composizione chimica, sensibilmente diversa da luogo a luogo e in rapporto alle classi dimensionali. La figura seguente mostra per esempio come variano il fattore di penetrazione e il tasso di deposizione in funzione del diametro delle particelle (El Orche t al., 2014).

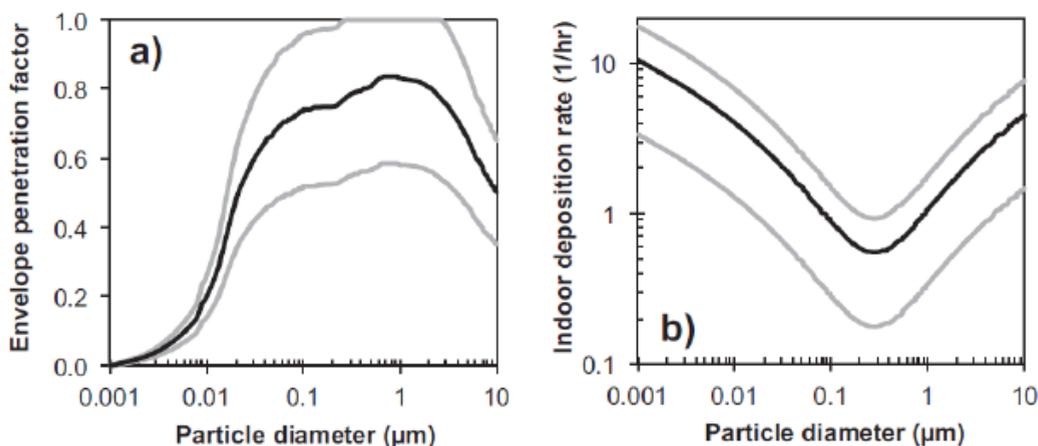


Figura 2.3 Variabilità dei fattori di penetrazione e di deposizione in funzione del diametro delle particelle.

I due grafici seguenti mostrano invece una sintesi dei dati di letteratura (Chen e Zhao, 2011) relativi ai fattori di infiltrazione e ai rapporti indoor/outdoor (che considerano anche la presenza di sorgenti indoor). I dati riportati sopra rappresentano l'effetto finale dei vari fenomeni di tipo fisico chimico che coinvolgono le particelle in fase solida e liquida ma anche i gas contestualmente presenti negli ambienti. Tali fenomeni avvengono sia ambiente

indoor che outdoor e sono essenzialmente riconducibili all'adsorbimento, alla coagulazione e alla condensazione. L'adsorbimento è il fenomeno che già abbiamo trovato nell'analisi dell'interazione tra i gas e le superfici di un ambiente confinato. Qui il fenomeno è sì relativo all'interazione tra particolato e superfici ma anche all'interazione tra particolato e i gas (inquinanti e non) presenti in atmosfera.

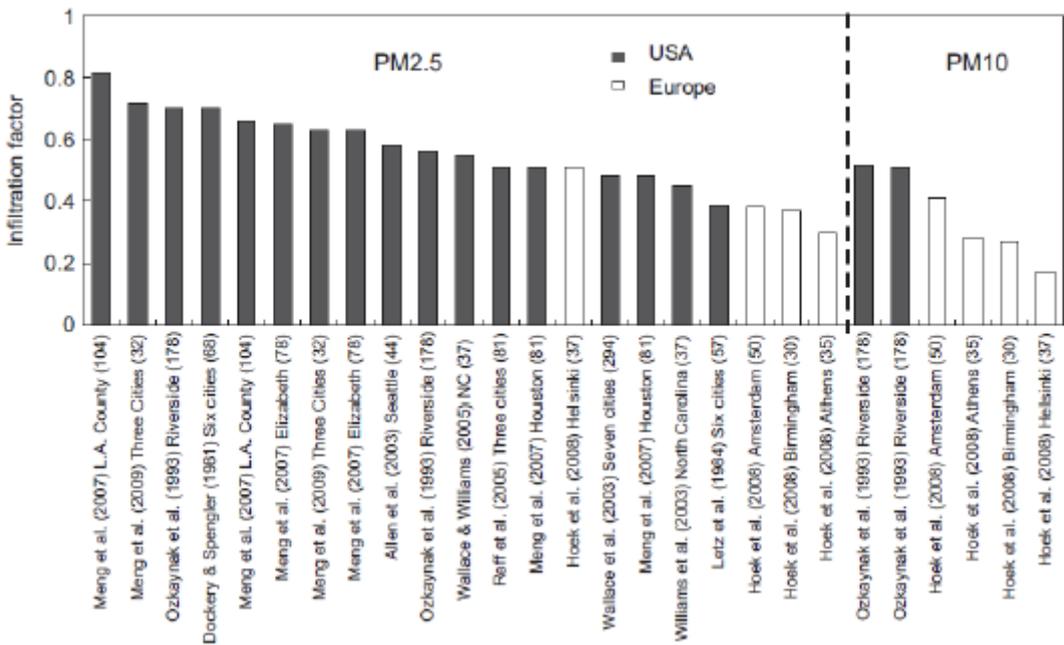


Figura 2.4 Quadro complessivo della variabilità dei fattori di infiltrazione nei maggiori studi internazionali.

Le figure 2.3 e 2.4 esemplificano l'effetto di tali fenomeni. In particolare, in figura 3 vengono presentate le differenze nella forma distributiva e nella composizione chimica del particolato ottenute in alcune campagne di misura indoor e outdoor condotte nella città di Bologna in una zona ad alto traffico (Zauli Sajani et al., 2016).

Si evidenzia la rimozione in ambiente indoor di parte della componente ultrafine del particolato dovuta principalmente alla crescita per coagulazione delle nano particelle (poco stabili).

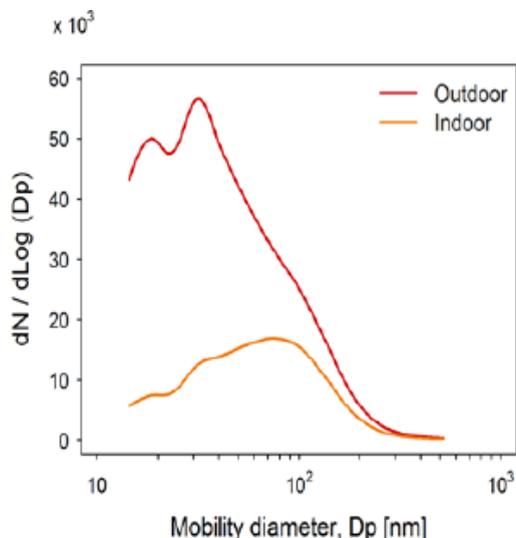


Figura 2.5 Distribuzione dimensionale del particolato in ambiente indoor e outdoor in una zona ad alto traffico nell'area urbana di Bologna.

La figura 2.6 mostra invece l'effetto delle trasformazioni chimiche che possono avvenire in seguito al passaggio del particolato dall'ambiente outdoor a quello indoor. Si

può notare come le temperature sensibilmente più elevate presenti negli ambienti chiusi nel periodo freddo porti alla drastica diminuzione in ambiente indoor delle sostanze più volatili e in particolare dei nitrati.

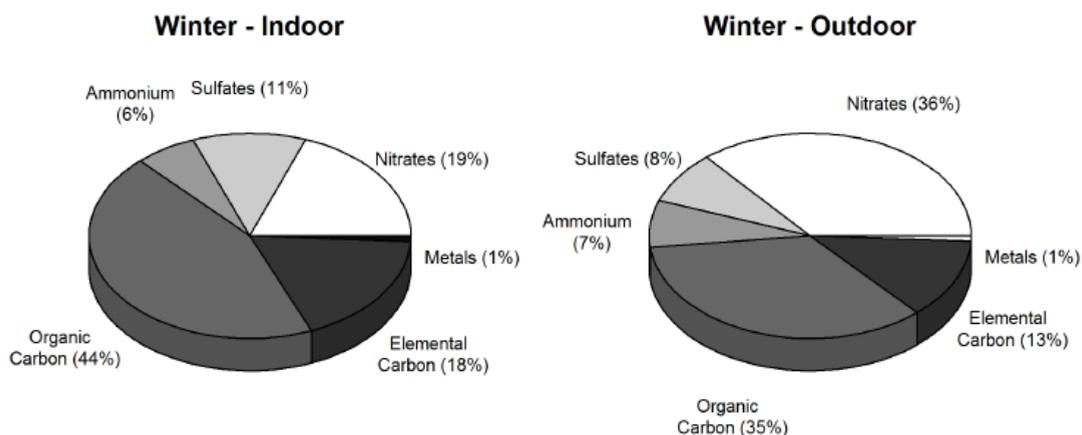


Figura 2.6 Composizione chimica del PM2.5 in ambiente indoor e outdoor in una zona ad alto traffico nell'area urbana di Bologna.

Da quanto detto sopra emerge la difficoltà di analizzare nel dettaglio gli svariati fenomeni che avvengono nel passaggio degli inquinanti dall'ambiente outdoor a quello indoor. Quello che di solito viene fatto è una analisi semplificata che parte da misure indoor e outdoor e interpretazioni dei dati basate su analisi di regressione, utilizzo di dati di letteratura e ipotesi a priori basate sulle specifiche condizioni dei microambienti e degli inquinanti considerati.

2.4 ANALISI DELLE SORGENTI INDOOR

La caratterizzazione sito-specifica di un ambiente indoor è identificabile con l'insieme delle attività che permettono di raccogliere informazioni preliminari associate alla struttura in esame, in modo da ottenere dati utili in relazione agli obiettivi della misura. Tale fase iniziale sarà indispensabile al fine di procedere con la messa a punto di un protocollo di monitoraggio che possa essere costruito in maniera specifica per il sito oggetto dell'indagine. In questa fase occorre compiere una valutazione qualitativa degli ambienti da monitorare mediante un'attività di sopralluoghi conoscitivi degli stessi. In base alla destinazione d'uso dello stabile in esame si potranno ottenere informazioni circa le più probabili sorgenti indoor ivi presenti, e anche inerenti il dato temporale associato all'attivazione delle stesse. A questo proposito sarà molto importante redigere appositi questionari, stilati successivamente ai sopralluoghi

conoscitivi, da distribuire agli occupanti (Huang et al., 2016; Wang et al. 2016); Cai et al. 2016).

Sarà necessario porre l'attenzione in particolare al tipo e all'età dell'edificio, ad eventuali lavori di ristrutturazione eseguiti nel fabbricato, alla destinazione d'uso degli ambienti che lo caratterizzano, al tipo di attività ivi svolte oltre che alla tipologia e alle caratteristiche orografiche dell'area su cui esso sorge [UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy, 2006]. Andando più nello specifico sarà necessario identificare le caratteristiche e le condizioni delle singole stanze in termini di:

- dimensioni (superficie, altezza);

- posizione della stanza rispetto all'edificio stesso;
- -posizione del piano rispetto all'edificio stesso;
- caratteristiche dei materiali di rivestimento delle pareti e dei pavimenti ed età degli stessi;
- materiali utilizzati per gli arredi ed età degli stessi;
- tipologia e ubicazione dei sistemi utilizzati per il riscaldamento degli ambienti;
- tipo di combustibile utilizzato per il riscaldamento e per le attività di cucina;
- presenza di sistemi per la ventilazione forzata e loro ubicazione;
- presenza di finestre, numero e posizione all'interno della stanza;
- condizioni degli infissi;
- presenza di muffe o danni da acqua;
- numero degli occupanti della stanza e tempo di permanenza degli stessi;
- presenza di animali;
- abitudini degli occupanti
- presenza di fumatori,
- ricognizione sui prodotti utilizzati per le pulizie;
- prodotti utilizzati nella stanza relativi alle attività ivi svolte.

L'elenco precedente potrà essere integrato volta per volta a seconda della tipologia di ambiente indoor oggetto dell'indagine e potrà essere utilizzato nella definizione del disegno sperimentale che sia il più possibile rappresentativo dell'intera area da indagare. A volte può essere utile in questa fase esplorativa effettuare delle analisi di screening mediante sistemi a rilevazione diretta che permettano uno studio dei profili emissivi delle probabili sorgenti (Kumar et al., 2016).

In generale è possibile operare una preliminare distinzione delle sorgenti dei differenti inquinanti in funzione dei tempi in cui le stesse restano attive discriminando tra sorgenti continue e sorgenti intermittenti. Le prime possono essere caratterizzate sia da un'emissione costante e uniforme nel tempo (ad es. materiali di arredo o per l'edilizia), sia da un'emissione

irregolare con profili che diminuiscono nel tempo anche in relazione alla variazione dei parametri microclimatici caratteristici dell'area oggetto di studio (ad es. emissione proveniente da solventi organici o dalla degradazione dei prodotti per la protezione dei materiali). Nel caso di sorgenti intermittenti il profilo emissivo potrà avere caratteristiche di tipo ricorrente, anche se in lassi di tempo ben definiti (ad es. cottura dei cibi), o di tipo occasionale (ad es. utilizzo di prodotti per la pulizia, candele profumate, incensi, dispositivi per deodorare gli ambienti) (UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006, Rapporto ISTISAN 13/04, Strategie di monitoraggio dei composti organici Volatili (COV in ambienti indoor; Rapporto ISTISAN 16/16, Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM10 e PM2,5 in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici).

A seconda delle probabili sorgenti individuate sarà necessario definire un periodo temporale di osservazione di interesse anche in base all'obiettivo dell'indagine e alle caratteristiche di attivazione. Nelle valutazioni della qualità dell'aria indoor risulta molto importante determinare le condizioni ambientali microclimatiche del sito (velocità dell'aria, temperatura, Umidità relativa) che possono influire sui dati, sul

censimento delle sorgenti e sulle concentrazioni degli inquinanti misurate oltre che sulle possibili azioni di buone pratiche che posso determinare una riduzione delle stesse emissioni.

La presenza di diversi tipi di contaminanti negli ambienti indoor dipende fortemente da quattro fattori di base:

- 1) Migrazione di sostanze nell'aria indoor direttamente dall'aria outdoor che circonda la stanza o l'edificio [Sam Kubba et al., 2017; Di Gilio et al. 2017; A. Marzocca et al., 2017];
 - 2) Emissione di sostanze provenienti da una vasta gamma di materiali d'arredo per interni, da materiali da costruzione e da elementi strutturali [Mariusz M., 2017; de Gennaro et al. 2015];
 - 3) Attività quotidiane dell'uomo identificate con una serie di azioni di routine o spontanee [M. Amodio et al., 2014; de Gennaro et al. 2016].
 - 4) Emissione di sostanze chimiche biogene (principalmente composti organici volatili) da piante verdi coltivate all'esterno (BVOCs) [Joo, et al. 2010; C.D. Forester, et al. 2011; T. Schripp et al., 2012];
- La Tabella 2.2, mutuata dalla norma UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006, fornisce una sintesi non esaustiva di tutte le possibili sorgenti presenti negli ambienti indoor.

Tab. 2.2 Sorgenti di inquinanti in aria indoor e principali sostanze emesse (Fonte: UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006)

Tab. 2.2 Sorgenti di inquinanti in aria indoor e principali sostanze emesse (Fonte: UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006)		
Sources	Activity	Substances emitted
Biological sources		
People, domestic animals	Breathing	CO ₂ , water vapor, odoriferous substances, bacteria, viruses.
	Sweating	Water vapor, odoriferous substances.
	Digestion, excretion, skin scaling.	Intestinal gases, odoriferous substances and excrements, decomposition products, bacteria and viruses, allergenic dust.
Cockroaches, dust mites / other insects	Excretion	Allergenic dust.

Rats, mice and other pets	Excretion Loss of hair, skin scaling	Allergenic dust, bacteria, viruses, odoriferous substances. Allergenic dust.
House plants	Evaporation	Terpenes and other odoriferous substances, water vapor.
Mould growth	Primary and secondary metabolism spore release.	Fungi propagules, bacteria cells and components, microbial VOC, mycotoxins.
Building products, building equipment		
Building and materials	Product processing, outgassing ageing, abrasion, decomposition.	Various gases and particles e. g. solvents, plasticizers, monomers, oligomers, wood preservatives, flameproofing agents, fibers (asbestos, mineral wool) radon (e.g. from grants) amines and ammonia.
Ventilation and air-conditioning system	Operating and maintenance.	Microorganism (e.g. legionella), biocides, fibers, odoriferous substances.
Room furnishing	Product processing renovation, outgassing.	Monomers and oligomers from plastics, resins, surface coating, adhesives (e.g. formaldehyde) fibers solvents, plasticizers, stabilizers, biocides.
Indoor activity		
Cooking and heating appliances	Combustion process (heating cooking), open fires.	Gases (municipal, bottled, natural), heating oil vapor, CO ₂ , CO, NO _x , water vapor, suspended particulate matter, hydrocarbons and many other organic substances (combustion and carbonization products).
Hygiene and personal care	Body and cosmetic care.	Solvents propellants, perfumes, inorganic and organic aerosol (dyes pigments lacquers resins), halocarbons.
Sanitation products	Cleaning and care procedures.	Water, ammonia, chlorine, organic solvents, insecticides, bactericides, chlorine compounds, domestic dust.
Home office	Office activities	Organic solvents, low-volatility organic substances (plasticizer, flameproofing agents), toner components, O ₃ .
Hobby products	Painting and other	Inorganic and organic gaseous and aerosol-type substances, particularly propellants and solvents, dusts, suspended particulate matter, metal vapors, monomers, biocide.

Tobacco	Smoking	CO, NO _x , nicotine, aldehydes, nitrosamine and other organic substances (e.g. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, aerosol).
Garage store room	Storage	Fuel vapor, exhaust gas, solvents.
Transportation		
Vehicles	Vehicles (use of car or public transportation)	Vehicles exhaust gases and particle (CO, NO _x PAHs, benzene, lead-suspended containing particulate matter, diesel soot), plasticizer (e. g. phthalates) and other additives, aldehydes, monomers (e.g. styrene), O ₃ (aircrafts cabin).
Outdoor air pollution		
Emission due to human activities	Ventilation, infiltration and diffusion through building exterior	Inorganic and organic gases and aerosols, solvents, ammonia, odorous substances, PAHs.
Natural emission	Ventilation, penetration of soil gases, windborne dust.	Pollen, radon, CH ₄ , sea salts, particles, microbes.
Livestock	Excretion	Ammonia and sulfur compounds

Tralasciando il problema associato alla migrazione di inquinanti da aria outdoor ad aria indoor, già ampiamente trattato in precedenza nel presente documento, si farà di seguito un approfondimento su alcune delle sorgenti considerate ubiquitarie nei differenti ambienti indoor e di prioritario interesse.

Le emissioni prodotte dai materiali di costruzione, finitura e arredo sono da considerarsi sostanziali in riferimento al potenziale emissivo variabile a seconda delle aree superficiali più o meno ampie che ricoprono, in relazione al volume dello spazio in cui si trovano, ma anche in considerazione dei processi di abrasione e decomposizione che possono subire nel tempo (Salthammer and E. Uhde, ISBN: 978-3-527-31567-3). Analizzando i numerosi studi scientifici reperibili in letteratura emerge che la gran parte dei materiali utilizzati per la costruzione e l'arredamento d'interni rappresentano sorgenti di diversi inquinanti soprattutto in forma gassosa e particellare (de Gennaro et al. 2015; Morawska and Salthammer 2003; Morawska et al., 2017). Per questa tipologia di sorgenti emissive vi è una

duplice problematica: la prima associata all'emissione, in particolare di COV, che a partire dalla posa in opera subisce una diminuzione all'aumentare del tempo di esposizione, e la seconda associata ai processi di degradazione degli stessi rivestimenti con il conseguente rilascio di fibre (asbesto e minerali del legno) radon (ad esempio dal granito) ammine ed ammoniaca (UNI EN ISO 16000-1:2006). La definizione di volatilità della sostanza gioca un ruolo fondamentale in termini di emissione, in quanto per composti bassobollenti vi sarà una maggiore velocità di rilascio, e al contrario per i composti altobollenti più tempo sarà necessario per l'emissione. In quest'ultimo caso il rischio di inquinamento indoor diventa più elevato, in quanto entrano in atto meccanismi di assorbimento/adsorbimento sulla superficie di altri materiali che si identificheranno come ulteriori nuove sorgenti (T. Salthammer and E. Uhde, ISBN: 978-3-527-31567-3). Il trasferimento di massa dei COV dai materiali è governato da tre processi fondamentali: la diffusione all'interno del materiale, l'evaporazione dallo strato

superficie e il desorbimento di composti adsorbiti. In riferimento proprio all' emissione di COV le principali sorgenti emmissive sono associate ai pannelli a base legno (compensato, truciolato, pannelli MDF, laminati) caratterizzati principalmente da emissione di resine sintetiche (Urea-Formaldeide e Fenolo-Formaldeide) a contenuto e rilascio variabile di Formaldeide (Zhongkai He et al, 2012). Anche le vernici e le pitture costituiscono una significativa fonte di COV in particolare in relazione alla quantità di composti basso bollenti (de Gennaro et al., 2015; Zhang and Xu, 2003). Tra i materiali isolanti quelli largamente impiegati sono il Polistirolo, prodotto dalla polimerizzazione dello Stirene, e il Poliuretano (An et al, 2017). Infine, i collanti e le resine rappresentano la principale causa di tossicità dei prodotti di finitura e di arredo in quanto largamente impiegati nella fabbricazione di mobili e nella posa di pavimenti vinilici, piastrelle, carta da parati e altro (Missia et al., 2010). Crescente interesse è rivolto, inoltre, alla presenza degli ftalati, impiegati come elasticizzanti nel processo produttivo per impartire flessibilità e durata alle materie plastiche, in svariati materiali polimerici (Yadav et al., 2017). Sono oggetto di studio in modo particolare il Benzilbutilftalato (BBP) e il Di(2-etilesil) - ftalato in quanto classificati dall'Environmental Protection Agency (EPA) come disturbatori endocrini per la loro accertata capacità di interferire con il sistema endocrino umano [ECA (European Collaborative Action) 2010].

Anche gli aspetti impiantistici possono determinare una maggiore condizione di rischio. In particolare i sistemi di ventilazione, climatizzazione e deumidificazione, un eventuale posizionamento non idoneo (anche in riferimento alla sito-specificità outdoor dell'area su cui insiste l'edificio stesso), una inadeguata manutenzione sono fattori determinanti che possono favorire l'ingresso in aria indoor di composti in forma gassosa e particellare oltre a determinare il proliferare, di acari, muffe, batteri

ed altri contaminanti biologici, all'interno di filtri non adeguatamente puliti [J.H. Park et al., 2011].

Le sorgenti associate alle più disparate abitudini di vita dei fruitori degli ambienti indagati e legate ai singoli contesti, rappresentano, infine, elementi determinanti per definire un quadro organico dello scenario espositivo. In realtà la comunità scientifica ha mostrato un interesse maggiore solo di recente nell'indagare l'influenza delle abitudini della popolazione sulla qualità dell'aria indoor (Nazaroff and Weschler, 2004; Petry, et al., 2014; Steinemann, 2015; Bartzis, et al., 2015; Steinemann, et al., 2011; Höllbacher et al., 2017). Le emissioni ad esse associate sono ascrivibili essenzialmente a COV e tra essi soprattutto Terpeni (derivanti dall'utilizzo di prodotti per l'igiene personale, per le attività di pulizia e per la profumazione degli ambienti) (Steinemann, 2015) oltre che una maggiore concentrazione di particolato dovuta soprattutto al fumo di tabacco ambientale (Sahu, S.K., et al., 2013; E. Höllbacher et al., 2017). La maggiore difficoltà in questo ambito riguarda la possibilità di individuare un approccio sistematico nella trattazione delle sorgenti derivanti proprio dalle attività degli utenti che rappresentano sorgenti temporanee (Höllbacher et al., 2017; Bartzis, et al., 2015; Brown, et al., 1994) al contrario della maggior parte delle altre sorgenti fin qui elencate che possono essere considerate continue e costanti anche se per periodi di tempo variabili (Bartzis, et al., 2015; Nazaroff, W.W., Weschler, 2004; Steinemann, 2015).

Oltre alle sorgenti fin qui analizzate, che possono essere considerate presenti in tutti gli ambienti indoor, è possibile fare delle valutazioni più specifiche a seconda della destinazione d'uso degli stessi.

Per una disamina delle possibili sorgenti in relazione alle differenti tipologie di ambienti indoor si può far riferimento alla Tabella 2.3 anch'essa mutuata dalla norma UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006.

Tabella 2.3. Principali tipologie di ambienti indoor e relative sorgenti di inquinanti solitamente presenti (Fonte UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006)

Tabella 2.3. Principali tipologie di ambienti indoor e relative sorgenti di inquinanti solitamente presenti (Fonte UNI EN ISO 16000 part 1: General aspect of sampling strategy: 2006)	
Type of indoor environment	Examples of emitting sources
Private dwellings and living rooms In particular Kitchens Living rooms, bedrooms, bathrooms Basements, hobby rooms Garages	Occupants, building materials, furnishing, renovation materials, cleaning agents, biocide-containing products, ventilation and air-conditioning systems, outdoor air, heating appliance, microbial growth. Gas appliances, cooking, cleaning products. Tobacco smoke, fireplaces, biocide-containing products, cosmetics, disinfectants. Hobby activities, Tobacco smoke, soil outgassing, Fuel, solvents.
Public buildings In particular Offices Schools and day care centers Hospitals Garages Swimming pools	Occupants, building materials, furnishing, renovation materials, cleaning agents, biocide-containing products, ventilation and air-conditioning systems, outdoor air. Office machine and supplies. Teaching materials, toys. Disinfectants, cleaning agents, anesthetics, sterilizing agents. Fuel, automobiles. Outgassing from water.
Transport vehicles	Fuel tanks, internal combustion engines, internal fitting materials, outdoor air.

2.5 METODI DI MISURA D'INQUINANTI CHIMICI IN AMBIENTE INDOOR

Il seguente paragrafo intende fornire dei suggerimenti su come sviluppare un'adeguata strategia di campionamento nei siti indoor di interesse, sulla base del significato dei fattori finora esposti. Questo contributo può considerarsi non esaustivo e potrebbe subire ulteriori integrazioni nella definizione complessiva del documento.

La pianificazione delle misurazioni dei differenti inquinanti in ambienti indoor necessita di un'attenta programmazione del campionamento e di una ben definita strategia di monitoraggio. Infatti, quanto finora rappresentato nei paragrafi precedenti evidenzia la complessità della problematica in riferimento ad un numero di caratteristiche ambientali specifiche degli ambienti indoor, all'obiettivo delle indagini ed agli impedimenti strutturali per l'accesso alle aree da indagare.

Prima di tutto è fondamentale chiarire gli scopi e definire gli obiettivi dell'indagine per poter di conseguenza: individuare i principali inquinanti da monitorare; definire il periodo temporale di osservazione di interesse; stabilire le opportune tecniche di campionamento ed analisi.

La scelta degli inquinanti da monitorare verrà effettuata in relazione alle caratteristiche sito-specifiche dell'area oggetto di indagine anche in riferimento alle caratteristiche outdoor in particolare inerenti la presenza di stabilimenti e realtà industriali che possono determinare una variabile pressione ambientale.

La durata e la frequenza del campionamento saranno determinate e strettamente correlate con gli obiettivi dell'indagine. In generale è possibile considerare due eventualità associate o alla necessità di effettuare un confronto della concentrazione di inquinante ottenuta con un valore-guida di riferimento, nel qual caso la durata di campionamento dovrà essere corrispondente all'arco temporale associato al valore guida, o alla necessità di effettuare indagini più peculiari per esempio associate allo svolgimento di attività specifiche, allo studio dell'eventuale attivazione di sorgenti interne, a studi di esposizione etc. In questo caso si potranno considerare tempi di monitoraggio variabili a seconda della situazione.

La scelta delle aree da indagare richiede la massima attenzione in quanto una valutazione errata nella scelta dei siti di campionamento potrebbe rendere improduttiva l'indagine effettuata. In particolare, quando si devono indagare edifici interi non sarà possibile né sostenibile, ispezionare tutti gli ambienti ivi presenti. Pertanto, si procederà suddividendo l'intera area oggetto del monitoraggio in zone che possano essere considerate

rappresentative in relazione agli obiettivi del monitoraggio anche considerando eventuali gradienti di temperatura che possono determinare una variabilità associata ai meccanismi di fluido-dinamica lungo i piani di edifici alti.

Il posizionamento della strumentazione di prelievo deve essere effettuato, quando possibile, al centro dell'area oggetto di studio. Nei casi in cui siano presenti delle difficoltà operative, sarà necessario sistemare le apparecchiature quanto meno ad una distanza non inferiore a 1 m dalla parete più vicina e ad un'altezza di circa 1,5 m dal pavimento (Rapporti ISTISAN 13/4, 16/16). Nel caso di uffici, scuole o asili, la strumentazione dovrà essere posizionata ad un'altezza confrontabile con quella degli utenti degli spazi indagati ovvero compresa tra 1 e 1.2 m dal pavimento.

Quando sono presenti particolari condizioni di esposizione diretta a irraggiamento solare o a correnti d'aria è preferibile posizionare la strumentazione lontano da queste specifiche zone, in modo da ottenere sempre misure rappresentative di eventuale contaminazione dell'area indagata ai fini della valutazione di rischio all'esposizione.

Gli enti che si occupano della normazione a livello europeo e nazionale, l'ISO e il CEN, hanno definito una serie di norme specifiche che riportano le procedure operative che esplicitano le strategie di monitoraggio generali; inoltre hanno fissato le procedure analitiche da utilizzare in tali attività.

Di seguito in Tabella 2.4 si fornisce una sintesi dei documenti di riferimento inerenti nello specifico le metodologie di campionamento ed analisi dei principali inquinanti presenti in ambienti indoor.

Tabella 2.4: Sintesi norme tecniche di riferimento per campionamento ed analisi dei principali inquinanti indoor

Tabella 2.4: Sintesi norme tecniche di riferimento per campionamento ed analisi dei principali inquinanti indoor
COV
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
UNI EN ISO 16000-9: 2006, Indoor air — Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing - Emission test chamber method.
UNI EN ISO 16000-10: 2006, Indoor air — Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing — Emission test cell method.
UNI EN ISO 16000-11:2006, 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
ISO 16000-24:2009: Indoor air —Part 24: Performance test for evaluating the reduction of volatile organic compound (except formaldehyde) concentrations by sorptive building materials.
ISO 16000-25:2011: Indoor air —Part 25: Determination of the emission of semivolatile organic compounds by building products — Micro-chamber method
UNI EN ISO 16017-1, Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 1: Campionamento mediante aspirazione con pompa.
UNI EN ISO 16017-2, Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 2: Campionamento per diffusione.
UNI EN 14662-5: 2007, Metodo normalizzato per la misurazione delle concentrazioni di benzene. Campionamento diffusivo seguito da desorbimento con solvente e gascromatografia.
ASTM D5466 - 01(2007) - Standard Test Method for Determination of Volatile Organic Chemicals in Atmospheres (Canister Sampling Methodology).
ISO 12219-1:2012, Part 1: Whole vehicle test chamber — Specification and method for the determination of volatile organic compounds in cabin interiors
ISO 12219-2:2012, Part 2: Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials — Bag method
Rapporto ISTISAN 13/4 Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor
Formaldeide e altri composti carbonilici
ISO 16000-3: 2011, Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air — Active sampling method

EN ISO 16000-4: 20004, Determination of formaldehyde —Diffusive sampling method
ISO 16000-23:2009, Indoor air —Part 23: Performance test for evaluating the reduction of formaldehyde concentrations by sorptive building materials
ISO 16000-24:2009, Indoor air — Part 24: Performance test for evaluating the reduction of volatile organic compound (except formaldehyde) concentrations by sorptive building materials
PM e caratterizzazione chimica (concentrazione in massa e caratterizzazione chimica)
ISO/AWI 16000-37, Indoor air -- Part 37: Strategies for the measurement of PM 2.5 (under development).
UNI EN ISO 16000:2008. Parte 12: 2008 Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).
ISO 16000:2008. Indoor air. Part 13: Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls (PCBs) and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PCDDs/PCDFs).

2.6 VALUTAZIONE DELLE ESPOSIZIONI IN AMBIENTE INDOOR

Nell'ultimo decennio, in particolare, è accresciuta la sensibilità dei cittadini e delle istituzioni sui possibili effetti sulla salute della popolazione esposta a fattori di rischio ambientali. L'attenzione inizialmente rivolta prevalentemente agli ambienti outdoor, si sta sempre più focalizzando agli spazi indoor data la maggiore permanenza giornaliera degli individui negli ambienti confinati.

Nell'ottica di proseguire il percorso tracciato dalle linee guida ISPRA per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS), in relazione alla valutazione della componente salute nei procedimenti autorizzativi ambientali (ISPRA, 2016), la procedura e la metodologia di seguito illustrata si propone di offrire un contributo operativo a coloro che, a vario titolo, con particolare riferimento agli spazi confinati, sono soggetti attivi nella valutazione del rischio sanitario da inquinanti ambientali e, nel caso specifico, a sostanze volatili di natura organica e inorganica. In questo contesto, infatti, l'attenzione si rivolge in particolar modo 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 (ISS, 2013).

La valutazione dell'esposizione indoor a sostanze volatili, come primo approccio, non può che ripercorrere il percorso d'indagine fin qui tracciato, ovvero l'individuazione delle potenziali sorgenti di contaminazione dell'ambiente indoor, la selezione delle sostanze da indagare plausibilmente associabili alle sorgenti di contaminazione individuate, le possibili vie di esposizione dell'organismo umano con tali sostanze e la misura delle concentrazioni degli inquinanti nell'ambiente confinato rappresentative delle esposizioni al recettore e la valutazione dell'esposizione.

2.6.1 Valutazione del rischio sanitario inalatorio

A seguito del monitoraggio degli inquinanti in aria indoor, una volta acquisiti i valori ambientali al fine di valutare il rischio sanitario inalatorio, è possibile utilizzare le metodologie sintetizzate di seguito.

Dal punto di vista tossicologico, le sostanze inquinanti si distinguono in sostanze cancerogene e sostanze non cancerogene, quest'ultime più semplicemente note anche come tossiche.

La valutazione del rischio sanitario a seguito di un'esposizione inalatoria agli inquinanti viene effettuata per gli effetti non cancerogeni (HQ – Hazard Quotient) e per gli effetti cancerogeni (Risk) per esposizione a singola sostanza. Nel caso di una potenziale esposizione dei recettori ad una miscela costituita da più contaminanti, viene determinato, per gli effetti cancerogeni e non cancerogeni, il rischio cumulativo (HI – Hazard Index e Cumulative Risk). Ai fini dello sviluppo di tale procedura viene fatto riferimento a protocolli operativi e metodologie messe a punto a livello nazionale e internazionale (ISS, 2014; ISS, 2012; EPA, 2009).

Per i contaminanti non cancerogeni si assume che esista una soglia di esposizione di riferimento al di sotto della quale non si registrano effetti dannosi. Tale soglia, nel caso di valutazione del rischio sanitario per inalazione di inquinanti aerodispersi, è rappresentata dalla dose, assunta quotidianamente per via aerea e ritenuta priva del rischio che si verifichino effetti avversi per la salute umana (comprendendo i sottogruppi sensibili di popolazione) anche al perdurare dell'esposizione per l'intera vita. Il parametro tossicologico di riferimento è rappresentato dalla RfDinal (*Inhalation Reference Dose*) o dalla RfC (*Reference Concentration*). Ognuno dei due parametri può derivare dall'altro attraverso l'equazione (1) di seguito riportata (ISPRA, 2008):

$$(1) \quad [RfC \text{ (mg/m}^3) \times 20 \text{ m}^3/\text{giorno}] / 70 \text{ kg} = RfDinal \text{ (mg/kg*giorno)}$$

Per quanto riguarda le sostanze cancerogene si assume che non esista una dose di riferimento al di sotto della quale non si possano manifestare effetti tumorali; si presuppone pertanto che per queste sostanze vi sia un comportamento lineare della risposta anche in presenza di basse dosi. In tal senso, non essendo prevista una soglia di non effetto, l'esposizione a tali sostanze non potrà mai comportare un rischio inesistente, ma solo un rischio accettabile.

Per quanto sopra detto, la tossicità cancerogena di una sostanza viene stimata attraverso la pendenza della curva dose-risposta, *Slope Factor* (SF), assunta con andamento lineare.

La tangente SF del tratto rettilineo della relazione dose-risposta rappresenta il rischio riferito ad una dose unitaria e viene utilizzato per stimare il valore di incidenza del cancro associata ad una determinata dose giornaliera di una sostanza cancerogena, assunta per l'intero corso della vita.

La stima delle potenzialità cancerogeniche di una sostanza, oltre ad essere espressa mediante lo *slope factor*, nel caso di esposizione inalatoria, viene anche indicata con l'*Inhalation Unit Risk* (IUR).

Come sopra evidenziato per i parametri che esprimono la tossicità delle sostanze non cancerogene, anche nel caso dello *slope factor* inalatorio (SF_{Final}) e dello IUR esiste una relazione che lega tali parametri in modo che ciascuno dei due possa essere fatto derivare dall'altro secondo l'equazione (2) di seguito riportata (ISPRA, 2008):

$$(2) \quad [IUR \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1} \times 70 \text{ kg} \times 1000 \text{ }\mu\text{g/mg}] / 20 \text{ m}^3/\text{giorno} = SF_{Final} \text{ (mg/kg*giorno)}^{-1}$$

Ai fini della seguente procedura di valutazione del rischio inalatorio, vengono assunti quali parametri tossicologici dei singoli contaminanti esclusivamente l'RfC e lo IUR, rispettivamente, per la valutazione degli effetti non cancerogeni e cancerogeni. Tali parametri sono reperibili da fonti di letteratura nazionali e internazionali come, tra i più completi e rappresentativi, il database tossicologico fornito dall'ISS-INAIL (ISS, 2015) e quello messo a disposizione dall'EPA-Region 9 (EPA, 2017).

L'applicazione della procedura di valutazione del rischio sanitario giunge alla determinazione del cosiddetto *Hazard Quotient* (HQ) e *Risk* individuale, rispettivamente per gli effetti non cancerogeni e cancerogeni. La determinazione del rischio non cancerogeno e/o cancerogeno per una singola sostanza è seguita dal calcolo del rischio cumulativo che equivale, sia per le sostanze non cancerogene che cancerogene, alla somma dei rispettivi rischi individuali.

Per calcolare il rischio tossico associato all'esposizione a diverse sostanze, gli HQ calcolati per una singola sostanza devono quindi essere sommati per ottenere l'*Hazard Index* (HI) o indice di pericolo; per calcolare il rischio cancerogeno cumulativo (Cumulative Risk)

devono essere sommati i singoli rischi cancerogeni individuati anch'essi per ogni sostanza in esame.

Stima del rischio tossico

Il rischio tossico o indice di rischio per la via di esposizione inalatoria viene calcolato mediante l'equazione (3) di seguito riportata (ISS, 2014):

$$(3) \text{ HQ} = \text{EC} / (\text{Toxicity Value} * 1000)$$

dove EC rappresenta la concentrazione di esposizione espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre con *Toxicity Value* ci si riferisce al valore di tossicità per inalazione della sostanza che, nel caso specifico, è dato dalla *Reference Concentration* (RfC) espressa in mg/m^3 .

La concentrazione di esposizione viene quindi calcolata nel modo seguente (4):

$$(4) \text{ EC} = (\text{CA} * \text{ET} * \text{EF} * \text{ED}) / \text{ATnc} \text{ dove:}$$

CA = concentrazione del contaminante in aria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
 ET = tempo di esposizione (ore/giorno);
 EF = frequenza d'esposizione (giorni/anno); ED = durata d'esposizione (anni);
 ATnc = tempo sul quale l'esposizione è mediata (ED in anni x 365 giorni/anno x 24 ore/giorno);

Stima del rischio cancerogeno

Il rischio cancerogeno per la via di esposizione inalatoria viene calcolato mediante l'equazione (5) di seguito riportata (ISS, 2014):

$$(5) \text{ Risk} = \text{IUR} * \text{EC} * \text{ADAF}$$

dove per IUR si intende l'*Inhalation Unit Risk* espressa in $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, per EC si intende la concentrazione di esposizione espressa in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e per ADAF (*Age-Dependent Adjustment Factor*) il fattore di aggiustamento dipendente dall'età. Per le sostanze cancerogene che agiscono attraverso un'azione genotossica, infatti, si raccomanda di considerare l'ADAF in funzione dell'età del recettore potenzialmente esposto. I fattori di aggiustamento ADAF sono pari a:

- 10 per un'età compresa fra 0 e 2 anni;
- 3 per un'età compresa fra 2 e 16 anni;
- 1 per un'età maggiore di 16 anni (adulto).

Come già visto per le sostanze non cancerogene, la concentrazione di esposizione (EC) per le sostanze cancerogene viene definita dall'equazione (6):

$$(6) \text{ EC} = (\text{CA} * \text{ET} * \text{EF} * \text{ED}) / \text{ATc} \text{ dove:}$$

CA = concentrazione del contaminante in aria ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);
 ET = tempo di esposizione (ore/giorno);
 EF = frequenza d'esposizione (giorni/anno); ED = durata d'esposizione (anni);
 ATc = tempo sul quale l'esposizione è mediata (tutta la vita in anni x 365 giorni/anno x 24 ore/giorno).

I parametri di esposizione utili per il calcolo di EC, per le diverse tipologie di recettore e per fascia di età sono inseriti nella tabella di seguito riportata (Figura 2.10) (ISS, 2014).

FATTORI DI ESPOSIZIONE (EF)	Simbolo	Unità di Misura	Residenziale		Com/Ind	Ricreativo	
			Adulto	Bambino	Adulto	Adulto	Bambino
Tempo medio di esposizione per le sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo medio di esposizione per le sostanze non cancerogene	ATn	anni	24	6	25	24	6
Durata di esposizione	ED	anni	24	6	24	24	6
Frequenza di esposizione	EF	giorni/anno	350	350	350	350	350
Tempo di esposizione	ET	ore/giorno	24	24	8	3	3
Fattore di aggiustamento per sostanze cancerogene e mutagene	ADAF	[adim.]	1	3-10 (*)	1	1	3-10 (*)

(*) Secondo *Exposure Factor Handbook* del 2011, il fattore di aggiustamento è da assumersi pari a 10 per la fascia di età 0 - <2, pari a 3 per la fascia di età 2 - <16 e pari a 1 per gli adulti

Figura 2.10. Fattori di esposizione utili per il calcolo della concentrazione di esposizione (EC). Fonte: ISS-INAIL-ARPAV-Dip. Prev. AULSS 12 Veneziana. Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati. Settembre 2014)

Il processo di valutazione termina confrontando il valore di rischio calcolato con i criteri di accettabilità del rischio, che per le sostanze non cancerogene equivale all'unità ($HI < 1$) mentre, per le sostanze cancerogene la normativa nazionale inerente il tema delle bonifiche dei siti inquinati (D. Lgs. 152/2006 e D. Lgs. 04/2008) indica per il rischio individuale il valore di 10⁻⁶ e per il rischio cumulativo il valore di 10⁻⁵. L'US-EPA, nella valutazione del rischio cumulativo, ipotizza invece un valore pari a 10⁻⁶, con interventi discrezionali nel range 10⁻⁴ e 10⁻⁶ e un intervento pianificato in caso di rischio superiore a 10⁻⁴.

BIBLIOGRAFIA

- Amodio M., et al., (2014) Indoor Air Quality (IAQ) assessment in a multi-storey shopping mall by high spatial resolution monitoring of volatile organic compounds (VOC), *Environ. Sci. Pollutant Res* (2014) 21:13186-13195;
- An W., et al., (2017) Effects of building concave structure on flame spread over extruded polystyrene thermal insulation material, *Applied Thermal Engineering* 121 (2017) 802–809
- Angelini P., Lauriola P. (2011) Progetto MONITER. Linea progettuale 3 – Valutazione dell'esposizione umana e implementazione sistema informativo integrato. Linee guida per la realizzazione della valutazione dell'esposizione; 2011.
- APAT, 2008 – Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/siti-contaminati-02marzo08.pdf>
- ATSDR (2017)- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances. Last updated: June 2017
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances. Last update: June, 2017; ultima consultazione 11 ottobre 2017.
- Auer LH, Rosemberg ND, Birdsell KH, Withney EM, 1996 – The effects of barometric pumping on contaminant transport – *Journal of Contaminant Hydrology* 2002 24(2)
- Baker D, Nieuwenhuijsen MJ. (2008) *Environmental Epidemiology. Study methods and application.* Oxford: Oxford University Press, 2008
- Bartzis, J. et al., (2015) On organic emissions testing from indoor consumer products' use. 2015, *J. Hazard. Mater.* 285, 37e 45;
- Breen MS, Schultz et al., (2014). A review of air exchange rate models for air pollution exposure assessments. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2014;24(6):555-563.
- Brown, S.K., et al., (1994) Concentrations of volatile organic compounds in indoor air - a review. *Indoor Air* 4, 123e134
- Cai J., et al., (2016), Validity of subjective questionnaire in evaluating dwelling characteristics, home dampness, and indoor odors in Shanghai, China: Cross-sectional survey and on-site inspection, *Energy and Buildings* 127 (2016) 1019–1027].
- Chiodini G., et al., 1998 – Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas - *Applied Geochemistry* 1998 13(5)
- Choi JW, Tillman FD, Smith JA (2002)– Relative Importance of Gas-Phase Diffusive and Advective Trichloroethene (TCE) Fluxes in the Unsaturated Zone under Natural Conditions – *Environmental Science and Technology* 2002 36 (14) D.M. 24.04.2013 “Disposizioni volte a stabilire i criteri metodologici utili per la redazione del rapporto di valutazione del danno sanitario (VDS) in attuazione dell'articolo 1-bis, comma 2, del decreto-legge 3 dicembre 2012, n. 207, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 dicembre 2012, n. 231”.
- de Gennaro G., et al., (2015) Temporal variation of VOC emission from solvent and water-based wood stains, *Atmospheric Environment* 115 (2015) 53 e 61]
- de Gennaro G., et al., (2016) Discontinuous and Continuous Indoor Air Quality Monitoring in Homes with Fireplaces or Wood Stoves as Heating System, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2016, 13, 78.
- de Hoogh K, et al., (2016) Development of West-European PM_{2.5} and NO₂ land use regression models incorporating satellite-derived and chemical transport modelling data. *Environ Res.* 2016 Nov; 151:1-10.
- De Jong E, 1973 – Evidence for significance of other-than-normal diffusion transport in soil gas exchange – a discussion – *Geoderma* 1973 10
- Diapouli, E., Chaloulakou, A., Koutrakis, P. (2013) Estimating the concentration of indoor particles of outdoor origin: a review. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2013; 63:1113-1129.
- Di Gilio A., et al., (2017) Indoor/Outdoor Air Quality Assessment at School near the Steel Plant in Taranto (Italy), *Hindawi Advances in Meteorology,*

Volume 2017, Article ID 1526209, 7 pages, <https://doi.org/10.1155/2017/1526209>;

Dimitroulopoulou, C. (2012) Ventilation in European dwellings: A review. *Build. Environ.* 2012; 47:109–125.

ECA (2010) (European Collaborative Action) (2010) Harmonization Framework for Indoor Material Labelling Schemes in the EU, Report No. 27, Institute for Health and Consumer Protection, Ispra, Italy

EEA, 2016. Air quality in Europe - 2016. Report n. 28/2016.

El Orch Z, Stephens B, Waring MS. (2014) Predictions and determinants of size-resolved particle infiltration factors in single-family homes in the US. *Building and Environment.* 2014; 74:106-118.

Environmental Protection Agency (EPA). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment) – Final – EPA-540–R–070–002 January 2009.

EPA, (1997) Exposure Factor Handbook, 1997

EPA. (2016) Guidelines for Human Exposure Assessment. January 7, 2016

EPA (2017)- Environmental Protection Agency, Region 9. Regional Screening Levels (Formerly PRGs). Last updated June 2017

Etiopie G, 1999 – Subsoil CO₂ and CH₄ and their advective transfer from faulted grassland to the atmosphere – *Journal of Geophysical Research* 1999 104 (14)

Etiopie G, Martinelli G, 2002 – Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 2002 129

Forester, C.D. Wells, J.R. (2011) Hydroxyl radical yields from reactions of terpene mixtures with ozone, *Indoor Air*, 21 (2011), pp. 400–409

Fuller GW, et al., (2014). Contribution of wood burning to PM₁₀ in London. *Atmospheric Environment*, vol 87, pp. 87-94 Grontoft T., Raychaudhuri R. Compilation of tables of surface deposition velocities for O₃, NO₂ and SO₂ to a range of indoor surfaces. *Atmos. Environ.* 2004;38:533–544.

Höllbacher E., et al., (2017) Emissions of indoor air pollutants from six user scenarios in a model room,

Atmospheric Environment, Volume 150, February 2017, Pages 389-394

Huang. C., et al., (2016) Household indoor air quality and its associations with childhood asthma in Shanghai, China: On-site inspected methods and preliminary results, *Environmental Research* 151 (2016) 154

–167.,

IARC (2012). Working Groups. Benzo[a]pyrene. Monograph 100F

IARC (2016) Working Group. Outdoor air pollution. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, No. 109. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer;

ISPRA. (2008) Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio ai siti contaminati. Rev. 2 - Marzo, 2008

ISPRA, (2016) Linee guida per la valutazione integrata di impatto ambientale e sanitario (VIAS) nelle procedure di autorizzazione ambientale (VAS, VIA e AIA), ISPRA Manuali e Linee guida 133/2016.

ISPRA, (2016) Stato dell'Ambiente 68/2016. Focus su inquinamento atmosferico nelle aree urbane ed effetti sulla salute. Qualità dell'ambiente urbano, XII Rapporto – Ediz. 2016.

ISPRA (2008) Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio ai siti contaminati. Appendice O: Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti. Rev. 2 - Marzo, 2008

ISS-INAIL-ARPAV-Dip. Prev. AULSS 12 Veneziana. Protocollo per il monitoraggio dell'aria indoor/outdoor ai fini della valutazione dell'esposizione inalatoria nei siti contaminati. Settembre 2014.

ISS (2011) Istituto Superiore di Sanità, Regione Emilia Romagna. Problematiche ambientali e sanitarie del sito contaminato denominato "Quadrante Est" nel Comune di Ferrara. Giugno 2011.

ISS (2012) Istituto Superiore di Sanità, Regione Emilia Romagna. Problematiche ambientali e sanitarie del sito contaminato denominato "Quadrante Est" nel Comune di Ferrara. Giugno 2012.

ISS (2015) Istituto Superiore di Sanità. Banca Dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale.

Ultimo aggiornamento: marzo 2015; ultima consultazione 11 ottobre 2017.

ISS (2013) Istituto Superiore di Sanità, Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor. Rapporti ISTISAN 13/4.

ISS (2016) Istituto Superiore di Sanità. Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM10 e PM2,5 in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici. Rapporto ISTISAN 16/16

ISS, Istituto Superiore di Sanità. Banca Dati ISS-INAIL per Analisi di Rischio Sanitario Ambientale.

Ultimo aggiornamento: marzo 2015.

Johnson PC, Ettinger RA, (1991) – Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings – Environmental Science & Technology, - ACS Publications

Kelly FJ, Fussell JC. (2012) Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. Atmospheric Environment. 2012 December; 60: 504-526.

Kubba S., et al., (2017), Chapter Seven – Indoor Environmental Quality, Handbook of Green Building Design and Construction (Second Edition), LEED, BREEAM, and Green Globes 2017, Pages 353–412;

Kumar P., et al., (2016) Real-time sensors for indoor air monitoring and challenges ahead in deploying them to urban buildings: a review, Science of the Total Environment 560 – 561 (2016) 150 – 159

Joo, E., et al., (2010) Variation in biogenic volatile organic compound emission pattern of *Fagus sylvatica* L. due to aphid infection, Atmos. Environ, 44 (2010), pp. 227–234;

Leung DY. (2015) Outdoor-indoor air pollution in urban environment: challenges and opportunity. Front. Environ. Sci., 15 January 2015.

Luo Y, Zhou X, (2006) – Soil Respiration and the Environment – Academic Press/Elsevier 2006
Markiewicz A, et al., (2017) Emissions of organic pollutants from traffic and roads: Priority pollutants selection and substance flow analysis. Sci Total Environ. 2017 February 15; 580: 1162-1174.

Mariusz M., (2017) Problems and challenges associated with estimating the emissions of organic

compounds from indoor materials, TrAC Trends in Analytical Chemistry-Available online 27 September 2017- <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.022> ,

Marzocca A., et al., (2017) Indoor Air Quality Assessment and Study of Different VOC Contributions within a School in Taranto City, South of Italy, Environments 2017, 4, 23;

Missia D.A., et al., (2010) Indoor exposure from building materials: A field study. Atmospheric Environment 44 (35): 4388-4395.

Morawska L. and Salthammer T., (2003) Indoor Environment. Airborne Particles and Settled Dust., 2003, Wiley-VCH GmbH & CO. KGaA. ISBN 3-527-30525-4,

Morawska, L et al (2017) Arbore particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure Environment International 108 (2017) 75–83

Nazaroff, W.W., Weschler, C.J., (2004). Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. Atmos. Environ. 38, 2841e2865;

Park J.H., et al., (2011) Removal of submicron particles using a carbonfiber ionizer-assisted medium air filter in a heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) system. Building and Environment 46 (2011) 1699 e 1708

Paustenbach DJ. (2000) The practice of exposure assessment: a state-of-art review. J Toxicol Environ Health Part B 2000 Jul-Sep;3(3):179-291.

Perrone M, et al. (2011). Analisi e modellamento delle sorgenti e degli effetti dell'inquinamento da particolato atmosferico. In Industrial Ecology: I principi, le applicazioni a supporto della Green Economy. Maggioli.

Pessina V, de Munari E. (2001) Atmosfera, Aria e Inquinamento. 2001 https://www.arpae.it/cms3/documenti/_cerca_doc/aria/inquinanti.pdf

Petry T., et al., (2014) Human health risk evaluation of selected VOC, SVOC and particulate emissions from scented candles. 2014 Regul. Toxicol. Pharmacol. 69,55 e 70

Porto G, et al., (2015) – Interazioni suolo-atmosfera durante le misure di soil gas: Il caso del mercurio – RemTech 2015

Ranzi A, et al., (2014) modelli per la valutazione dell'esposizione. *Ecoscienza*, num. 1, anno 2014

Rapporti ISTISAN 13/4. (Istituto Superiore di Sanità),. Strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (COV) in ambiente indoor. ISSN 1123-3117. Rapporti ISTISAN 13/4.

Rapporti ISTISAN 15/4 Istituto Superiore di Sanità. La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale sull'inquinamento indoor. Workshop, Roma 28 maggio 2014. ISSN 1123-3117. Rapporti ISTISAN 15/4.

Rapporto ISTISAN 16/16, Strategie di monitoraggio del materiale particolato PM10 e PM2,5 in ambiente indoor: caratterizzazione dei microinquinanti organici e inorganici].

Rey A, et al., (2012) – Wind as a main driver of the net ecosystem carbon balance of a semiarid Mediterranean steppe in the South East of Spain – *Global Change Biology* 2012 18

Saffari A, et al., (2013). Increased biomass burning due to the economic crisis in Greece and its adverse impact on wintertime air quality in Thessaloniki. *Environ Sci Technol.* 2013;47(23):13313-20.

Sahu, S.K., et al., (2013) Particle size distribution of mainstream and exhaled cigarette smoke and predictive deposition in human respiratory tract. 2013 *Aerosol Air Qual. Res.* 13, 324 e 332;

Salthammer T. and Uhde E. (2009) *Organic Indoor Air Pollutants*, Wiley-VCH GmbH & CO. KGaA, ISBN: 978-3-527-31567-3

Sarno G, Maio S, Simoni M, Baldacci S, Cerrai S, Viegi G. Inquinamento atmosferico e salute umana.

EpidemiolPrev supplemento 2. Anno 37 (4-5) 2013.

Scanlon BR, Nicot JP, Massmann JW, (2002) – *Soil Gas Movement in Unsaturated Systems – Soil Physics Companion* edited by A.W. Warric, 2002

Schripp, T. et al., (2012) Interaction of ozone with wooden building products, treated wood samples and exotic wood species, *Atmos. Environ.* 54 (2012), pp. 365–372

Steinemann, A.C et al., (2011) *Fragranced consumer products: chemicals emitted, ingredients unlisted.*

2011, *Environ. Impact Assess. Rev.* 31, 328e333

Steinemann, A., (2015) *Volatile emissions from common consumer products.* 2015, *Air Qual. Atmos. Health* 1 e 9;

UNI EN ISO 16000 (2006) part 1: General aspect of sampling strategy: 2006.

Waitz MFW, 2006 – Validation of the VOLASOIL model using air measurements from Dutch contaminated sites – RIVM Report n.711701041.

USEPA, (2012) EPA's Vapor Intrusion Database – https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer_2010_database_report_03-16-2012_final_witherratum_508.pdf

USEPA, (2015) *Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air* – <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer-vapor-intrusion-technical-guide-final.pdf>

USEPA, (2015b) *Technical Guide for Addressing Petroleum Vapor Intrusion at Leaking Underground Storage Tank Sites* – <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/pvi-guide-final-6-10-15.pdf>

Waitz MFW, (2006) *Validation of the VOLASOIL model using air measurements from Dutch contaminated sites* – RIVM Report n.711701041.

Wang X., et al., (2016), Associations of dwelling characteristics, home dampness, and lifestyle behaviors with indoor airborne culturable fungi: On-site inspection in 454 Shanghai residences, *Building and Environment* 102 (2016) 159-166,

WHO (2000)– World Health Organization Regional Office for Europe, 2nd edition 2000. *Air Quality Guidelines*. No. 91. ISBN 92 890 1358 3.

WHO (2006)– World Health Organization, 2006. *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Global update 2005.

WHO (2010)– World Health Organization Regional Office for Europe, 2010. *Guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. ISBN 978 92 890 0213 43.

WHO, 2012. Household air pollution from cooking, heating and lighting.

Yadav I.C. et al., (2017) Occurrence and fate of organophosphate ester flame retardants and plasticizers in indoor air and dust of Nepal: Implication for human exposure, *Environmental Pollution* 229 (2017) 668 e 678

Zauli Sajani S, et al., (2016) "Is particulate air pollution at the front door a good proxy of residential exposure?" *Environmental Pollution* 2016; 213:347-358.

Zhanga K, Battermanb S. (2013) Air pollution and health risks due to vehicle traffic. *Sci Total Environ.*

2013 April 15; 0: 307–316

Zhang Y. Xu Y., (2003) Characteristics and correlations of VOC emissions from building materials, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46 (25):4877-4883

Zhongkai He., et al, (2012) Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood- based panels, *Building and Environment*, 47 (2012) 197 e 204.

3. VAPOUR INTRUSION DA SUOLO E FALDA: MODELLI UTILIZZABILI E CONDIZIONI AL CONTORNO

Marco Falconi (ISPRA), Antonella Vecchio (ISPRA)

Con il termine “*vapour intrusion*” si intende la migrazione di sostanze chimiche in fase vapore presenti in qualsiasi sorgente verso l'edificio sovrastante. Le sostanze chimiche di origine antropica (ad esempio, idrocarburi e solventi clorurati) presenti nei suoli e/o nelle acque sotterranee e potrebbero quindi costituire un peggioramento della qualità dell'aria indoor attraverso il percorso di intrusione di vapori.

Generalmente negli edifici le concentrazioni di sostanze chimiche derivanti da intrusioni di vapore non sono eccessivamente elevate, tuttavia esse possono comunque costituire un rischio non accettabile per la salute umana derivante dall'esposizione a lungo termine (cioè cronica) a questi contaminanti.

Nei casi estremi, tuttavia i vapori possono accumularsi nelle abitazioni o in generale negli spazi chiusi a livelli tali da rappresentare pericoli di sicurezza a breve termine (es. Esplosione) o effetti acuti sulla salute.

Nella figura (USEPA, 2015) vengono indicate principali modalità di migrazione dei vapori all'interno degli edifici derivanti da terreni contaminati e acque sotterranee.

I vapori presenti nei gas interstiziali del suolo generalmente entrano negli edifici attraverso le fessure nei basamenti a contatto con il terreno oppure attraverso i sottoservizi per le linee di utenza. La presenza di spazi interrati inoltre può incrementare il fenomeno di accumulo di vapori. Pertanto, nella valutazione di tale fenomeno è fondamentale la conoscenza dettagliata delle caratteristiche dell'edificio al fine di individuare la vie preferenziali di migrazione ed accumulo dei vapori. Anche le condizioni atmosferiche e la ventilazione dell'edificio influenzano la “*vapour intrusion*” e quindi occorre caratterizzare sia le caratteristiche meteorologiche della zona e le loro variazioni giornaliere e

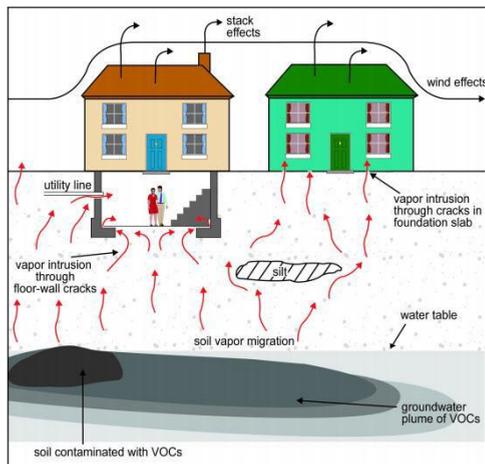


Fig.3.1 Schema della migrazione dei vapori da suolo/falda verso gli ambienti indoor.

stagionali (ventosità, variazioni di pressione e temperatura, effetto delle precipitazioni, ecc.) sia le abitudini dei fruitori degli edifici (tasso di ricambio di aria). Un fattore che certamente complica la valutazione dell'intrusione di vapori è la presenza potenziale nell'edificio delle medesime sostanze chimiche che provengono dalle sorgenti presenti nei terreni o nelle acque (background), ad esempio solventi domestici, detersivi, carburanti, ecc.

Generalmente per la stima della migrazione dei vapori in ambienti indoor si parte dalle concentrazioni totali misurate nei terreni e/o nelle acque di falda (in mg/Kg per i suoli o µg/L per le acque).

I modelli di trasporto comunemente utilizzati (Johnson et al., 1991, Waitz et al., 1996) hanno in comune i seguenti elementi:

- Valutazione alla sorgente della distribuzione dell'inquinante nelle varie fasi del suolo (modello di ripartizione all'equilibrio – bilancio di massa) a partire dal contenuto totale nel terreno per la stima delle concentrazioni nei gas interstiziali.
- Valutazione del flusso di massa inquinante verso l'ambiente indoor (modello di diffusione per il trasporto suolo/aria indoor o falda/aria indoor)
- Miscelazione tra il flusso di inquinante e l'aria indoor (bilancio di portate di massa)

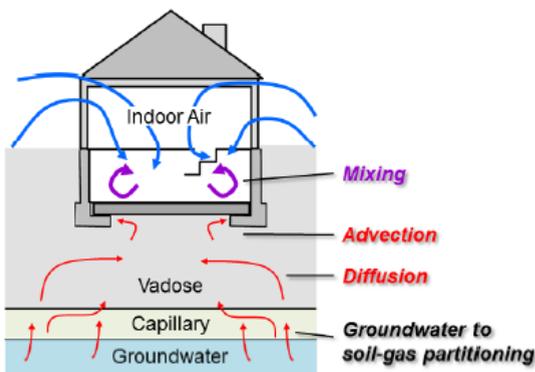


Fig.3.2 Fenomeni di trasporto simulati dai modelli di trasporto.

Tuttavia, occorre evidenziare che vi sono diverse limitazioni nelle assunzioni dei modelli che spesso possono portare a stime non rappresentative della reale esposizione alla "vapor intrusion".

Il primo limite riguarda l'utilizzo dell'equilibrio di ripartizione. Infatti, sovente nella realtà la distribuzione degli inquinanti nelle tre fasi presenti nel suolo (fase solida, acqua interstiziale, aria interstiziale) non raggiunge l'equilibrio ipotizzato. Ad esempio, i processi di adsorbimento/desorbimento degli inquinanti alla fase solida non sono completamente reversibili e pertanto i modelli non considerano che l'inquinante può rimanere legato stabilmente alla matrice solida. Vi possono essere

inoltre effetti di "invecchiamento" della contaminazione, dovuti a lunghi tempi di permanenza delle sorgenti nei terreni (contaminazioni storiche), che determinano un più lento desorbimento del contaminante. Ciò fa sì che le concentrazioni stimate nelle fasi mobili (aria e acqua interstiziale) dal modello di ripartizione all'equilibrio possano essere oltremodo sovrastimate.

A tali problematiche derivanti dal modello di ripartizione spesso si fa fronte misurando direttamente le concentrazioni dei vapori nei gas interstiziali mediante la tecnica del "soil gas survey".

Tuttavia l'utilizzo dei dati di "soil gas" direttamente in input ai comuni modelli di trasporto può determinare alcune criticità. Infatti il modello di trasporto diffusivo applicato ai dati di soil gas potrebbe risultare in alcuni casi non realistico e non cautelativo perché non considera adeguatamente i flussi di massa legati ai gradienti di pressione (avvezione).

In condizioni naturali il trasporto avveztivo avviene in risposta a:

- Fluttuazioni di pressione: variazioni giornaliere (giorno/notte) dovute a temperatura, umidità e pressione atmosferica dell'ordine di pochi millibar e variazioni a lungo termine che derivano da condizioni climatiche a scala più ampia, dell'ordine delle decine di millibar. Gli effetti di tali variazioni si risentono soprattutto negli strati superficiali di terreno e in generale la zona di influenza aumenta all'aumentare dello spessore dell'insaturo e della permeabilità del mezzo.
- Oscillazioni del livello di falda: il contributo è importante solo se la falda è molto superficiale, le variazioni sono repentine e la permeabilità del mezzo è elevata.
- Produzione di gas derivanti dalla degradazione di sostanza organica: i processi di respirazione e di degradazione di composti organici risultano in aumenti di volume di gas nel suolo che, qualora siano significativi, possono determinare un flusso avveztivo.

In generale anche gradienti di pressione relativamente piccoli possono generare flussi di tipo avveztivo molto più elevati rispetto a quelli prodotti per diffusione. Tuttavia, al

diminuire della pressione, della granulometria (diametro medio dei pori) o della saturazione del gas nei pori (ovvero all'aumento del grado di saturazione dell'acqua) il flusso avvertivo si riduce lasciando il posto a quello diffusivo che può diventare predominante (Auer et al., 1996, De Jong, 1973, Chiodini et al. 1998, Etiope et al., 2002, Luo et al., 2006, Etiope, 2009, Rey et al., 2012). E' anche noto che le variazioni di pressione sono per loro natura ciclica (alternando gradienti positivi o negativi) e che quindi l'effetto delle stesse può determinare una emissione dal suolo di tipo non continuo (Chen et al., 1995, Tillman et al., 2004, Waitz et al., 1996).

Tuttavia, l'aumento della pressione esterna in aria ambiente rispetto a quella interna al suolo solitamente genera un accumulo di vapori (aumento delle concentrazioni dei gas interstiziali) in corrispondenza dell'interfaccia suolo/aria che, non appena il differenziale

si inverte (ovvero la pressione esterna diminuisce), vengono rilasciati in atmosfera generando un flusso emissivo e la contestuale diminuzione delle concentrazioni nei vapori all'interfaccia (Porto et al., 2015).

Pertanto, si evidenzia quindi che l'utilizzo delle concentrazioni nel soil gas in input ai modelli di trasporto di tipo "diffusivo" (basati sulla legge di Fick) potrebbe portare a una "sottostima" del fenomeno di trasporto. E' pertanto necessario tener conto della componente "avvertiva" che in alcuni casi potrebbe essere predominante.

A tal proposito si riporta di seguito una tabella riepilogativa dei modelli maggiormente appropriati per la stima dei flussi di massa di vapori dal suolo sulla base di presenza di gradiente di pressione, permeabilità del suolo, concentrazione nei gas interstiziali. In corsivo i modelli che tengono conto dell'avvezione.

Tabella 3.1 Modelli più appropriati per la stima dei flussi di massa di vapori dal suolo (in corsivo i modelli che includono l'avvezione).

Gradiente di pressione	Permeabilità	Basse concentrazioni	Alte concentrazioni
Isobaro	Bassa	Dusty gas model	Dusty gas model
Isobaro	Alta	Legge di Fick	Stefan-Maxwell
Non isobaro	Bassa	<i>Dusty gas model + Legge di Darcy</i>	<i>Dusty gas model + Legge di Darcy</i>
Non isobaro	Alta	<i>Avvezione + Diffusione</i>	Dusty gas model

Alla luce di quanto evidenziato in precedenza, i modelli più recenti prevedono la possibilità di tener conto del contributo "avvertivo" nella stima del flusso in ingresso agli ambienti indoor, introducendo in input un gradiente di pressione tra l'esterno e l'interno dell'edificio. Tuttavia, al fine di stimare tale gradiente di pressione su base sito-specifica occorrono specifici monitoraggi all'interno ed all'esterno degli edifici per capire la risposta in ambiente indoor alle fluttuazioni esterne di pressione.

Alla luce delle criticità evidenziate relativamente all'utilizzo degli attuali modelli di trasporto applicati ai dati derivanti da soil gas survey, si ritiene opportuno far riferimento agli studi disponibili in letteratura che basano la stima dei fattori di trasporto sulla scorta di dati sperimentali. Il "Vapor Intrusion Database" dell'USEPA (USEPA, 2012) consente lo studio, sulla base dei monitoraggi disponibili, della correlazione tra le

concentrazioni registrate in aria indoor e le concentrazioni misurate nei gas interstiziali su un numero considerevole di siti sia in contesto residenziale che in contesto non residenziale. Le sostanze investigate sono prevalentemente composte clorurate presenti nei suoli insaturi e/o nelle acque sotterranee, anche se il database contiene diversi casi di contaminazione da idrocarburi. Il "Vapor Intrusion Database" è stato utilizzato per la stima di fattori di attenuazione soil-gas/aria indoor in contesto residenziale inserita nei documenti USEPA "EPA's Vapor Intrusion Database: Evaluation and Characterization of Attenuation Factors for Chlorinated Volatile Organic Compounds and Residential Buildings" (USEPA, 2012) e "Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air" (USEPA, 2015).ISPRA ha effettuato un'analisi specifica del "Vapor Intrusion

Database” per adattarla al contesto nazionale. Si riportano nella tabella seguente le assunzioni utilizzate nell’analisi e il confronto con quelle utilizzate da USEPA per la stima dei valori di riferimento dei fattori di

attenuazione soil-gas/aria indoor (alfa). Nella tabella seguente sono indicati i criteri di analisi del DB USEPA utilizzati da ISPRA e il confronto con quelli utilizzati da USEPA.

Tabella 3.2 – Assunzioni utilizzate da ISPRA nell’analisi del Vapour Intrusion Database USEPA.

Condizione	Criterio ISPRA	Conformità LG USEPA	Note
Tipologia di sostanze	Tutte le sostanze (clorurati + idrocarburi)	Non conforme	Nei documenti USEPA sono stati considerati solo i composti clorurati
Tipologia di edificio	Tutte le tipologie (residenziali e non residenziali)	Non conforme	Nei documenti USEPA sono stati considerati solo gli edifici residenziali
Consistenza dei dati	Esclusi gli alfa derivati da valori di soil-gas	Conforme	Sono stati esclusi i valori di

Si fa presente che le assunzioni sopra riportate, ed in particolare quella relativa all’influenza del background in aria, limitano molto il dataset. Tuttavia, tali assunzioni rendono più robusta l’analisi e restituiscono fattori di attenuazione più realistici. Sulla base dei criteri sopra

indicati si riportano le statistiche significative dei fattori di attenuazione determinati a partire dai dati di soil gas misurati all’esterno dell’edificio e al di sotto della soletta (sub-slab).

Tabella 3.3 Statistiche generali dei fattori di attenuazione (alfa).

Statistiche	alfa	
	alfa (soil gas sub-slab)	alfa (soil gas esterno edificio)
Min	1,32E-06	1,97E-04
5 percentile	9,29E-06	6,38E-04
25 percentile	3,83E-04	1,58E-03
50 percentile	2,15E-03	2,94E-03
75 percentile	8,57E-03	6,38E-03
95 percentile	1,25E-01	2,75E-02
Max	4,10E-01	8,82E-02
Media	2,38E-02	7,13E-03
StdDev	6,08E-02	1,42E-02
UCL95 media	3,45E-02	1,12E-02

È stata quindi effettuata una analisi per verificare la correlazione del fattore di attenuazione in funzione di:

- Profondità di campionamento (valida esclusivamente per i dati di soil gas misurati all’esterno dell’edificio

perché il campionamento sub-slab avviene immediatamente al di sotto della soletta)

- Tipologia di suolo

Di seguito sono riportate le statistiche relative alla correlazione del fattore di attenuazione con la profondità di campionamento. Le classi di profondità sono state definite in maniera da avere un dataset omogeneo (stessa numerosità) per ciascuna classe.

Tabella 3.4 Correlazione del fattore di attenuazione con la profondità di campionamento (soil gas misurati all'esterno dell'edificio).

Statistiche	alfa (soil gas esterno edificio)				
	All data	Prof. < 2,5m da p.c.	Prof. 2,5-4 m da p.c.	Prof. 4-9 m da p.c.	Prof. ≥ 9 m da p.c.
Min	1,32E-06	1,32E-06	5,93E-06	3,36E-06	6,81E-05
5 percentile	9,29E-06	6,05E-06	6,20E-06	7,34E-06	7,85E-05
25 percentile	3,83E-04	1,71E-03	1,15E-05	1,26E-04	1,04E-04
50 percentile	2,15E-03	8,34E-03	1,80E-04	4,04E-04	1,73E-03
75 percentile	8,57E-03	3,76E-02	3,88E-03	1,48E-03	2,01E-03
95 percentile	1,25E-01	1,25E-01	5,47E-03	4,75E-03	2,33E-03
Max	4,10E-01	2,50E-01	7,18E-03	7,50E-03	2,46E-03
Media	2,38E-02	3,59E-02	1,74E-03	1,24E-03	1,30E-03

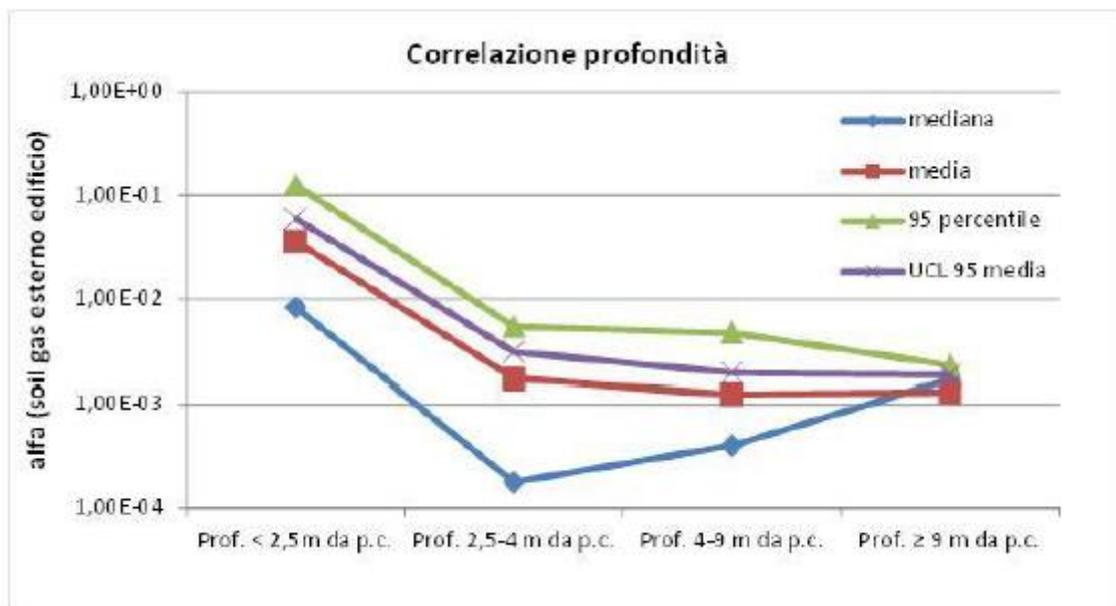


Fig.3.3 Correlazione del fattore di attenuazione con la profondità di campionamento (statistiche significative).

Si osserva che il *trend* di riduzione del fattore di attenuazione con la profondità è presente per gli indicatori statistici relativi alle code della distribuzione (95mo percentile e UCL 95 della media). Invece gli indicatori della tendenza centrale (media e mediana) non registrano tale trend per le classi di profondità più elevate.

Per quel che concerne la tipologia di suolo, sono riportate le statistiche di correlazione del fattore di attenuazione esclusivamente per le classi “*very course*” e “*course*” (terreni grossolani) perché per esse esiste un dataset significativo per l’analisi statistica. Per la classe “*fine*” il dataset non risulta sufficientemente robusto. Si riportano di seguito le statistiche relative alla correlazione del fattore di attenuazione con la tipologia di suolo.

Tabella 3.5 Correlazione del fattore di attenuazione con la tipologia di suolo (statistiche significative).

Statistiche	alfa (soil gas sub-slab)		alfa (soil gas esterno edificio)	
	<i>very course</i>	<i>course</i>	<i>very course</i>	<i>course</i>
Min	1,97E-04	4,47E-04	4,20E-04	1,32E-06
5 percentile	7,83E-04	6,83E-04	5,19E-04	5,77E-06
25 percentile	3,85E-03	1,48E-03	7,89E-04	1,04E-04
50 percentile	6,56E-03	2,67E-03	4,77E-03	5,91E-04
75 percentile	1,18E-02	5,42E-03	2,07E-02	3,94E-03
95 percentile	2,54E-02	2,15E-02	1,26E-01	3,51E-02
Max	3,18E-02	8,82E-02	2,50E-01	1,27E-01
Media	9,46E-03	7,00E-03	2,71E-02	7,57E-03
StdDev	9,42E-03	1,62E-02	5,94E-02	2,10E-02
UCL95 media	1,53E-02	1,25E-02	5,31E-02	1,23E-02

Anche in questo caso si registra un trend per tutti gli indicatori statistici di aumento del fattore di attenuazione al diminuire della granulometria del terreno.

Alla luce di tale trend, si riporta di seguito una stima degli indicatori statistici significativi per la classe “*fine*” derivata da una correlazione lineare con le altre due classi.

Tabella 3.6 Indicatori statistici del fattore di attenuazione per la classe “*fine*” derivati dalla correlazione con le altre due classi.

Statistiche	alfa (soil gas sub-slab)	alfa (soil gas esterno edificio)
	<i>fine</i>	<i>fine</i>
50 percentile	1,08E-03	7,32E-05
95 percentile	1,82E-02	9,82E-03
Media	5,18E-03	2,12E-03
UCL95 media	1,02E-02	2,86E-03

Per quel che concerne gli Idrocarburi e i BTEXS, USEPA indica che per la stima dei fattori di attenuazione più

realistici occorre tener conto dei fenomeni di biodegradazione aerobica (USEPA, 2015b).

In particolare si è tenuto conto dei risultati dei modelli tridimensionali disponibili in letteratura e presi a riferimento da USEPA nel documento del 2013 “*Evaluation of empirical data to support Soil Vapor Intrusion Screening Criteria for Petroleum Hydrocarbon Compounds*” per la valutazione dei dati di campo (USEPA, 2013).

Sono stati derivati i fattori di attenuazione con biodegradazione a partire da quelli relativi al *Vapour*

Intrusion Database considerando la correlazione con la profondità. Tuttavia, poiché il modello preso a riferimento considera gli effetti della biodegradazione aerobica, si è ritenuto opportuno limitare l’analisi a profondità inferiori a 4 m da p.c., ritenendo che al di sotto di tale limite si inneschino meccanismi di degradazione diversi vista la minore disponibilità di ossigeno. Per profondità superiori a 4 m da p.c., in via preliminare, è stato considerato lo stesso rapporto relativo alla classe 2,5 – 4 m da p.c.

Tabella 3.7 Fattori di attenuazione per contaminazione da Idrocarburi in presenza di biodegradazione.

Profondità	alfa (soil gas suolo) senza biodegradazione	alfa (soil gas suolo) con biodegradazione
< 2,5m da p.c.	5,93E-02	1,68E-02
2,5-4 m da p.c.	3,11E-03	3,56E-05
4-9 m da p.c.	1,97E-03	2,25E-05
≥ 9 m da p.c	1,89E-03	2,16E-05

Sono stati selezionati alcuni casi studio all’interno dell’SNPA relativi all’applicazione dei modelli di trasporto ai dati di *soil gas* nei correnti strumenti software in ambiente indoor (Johnson Ettinger). Sono stati quindi individuati i valori dei fattori di trasporto alfa derivati dai modelli ai fini del confronto con i valori indicati dal database USEPA. In particolare, per quel che concerne i modelli di trasporto in ambiente indoor sono stati valutati i fattori di trasporto alfa sia considerando il solo contributo diffusivo ($\Delta P = 0$) sia considerando anche il contributo avvevativo ($\Delta P > 0$), ipotizzando un gradiente di pressione tra l’ambiente chiuso e l’esterno pari a 4 Pa. I contaminanti oggetto di questo confronto sono stati Idrocarburi leggeri, BTEXS, Composti Clorurati e IPA

(Naftalene). Il campionamento dei gas del suolo è stato effettuato prevalentemente negli strati più superficiali (intorno a 1 m da p.c.) anche se vi sono alcuni casi di campionamenti profondi (fino a 3 m da p.c.)

I casi studio per l’ambiente indoor sono stati 65 mentre per l’outdoor sono stati raccolti 47 casi utili per il confronto. Alcuni casi prevedono entrambe le valutazioni per lo stesso sito/sorgente.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati del confronto tra i valori di alfa derivati dai modelli utilizzati dagli attuali strumenti software e alcune statistiche del database USEPA.

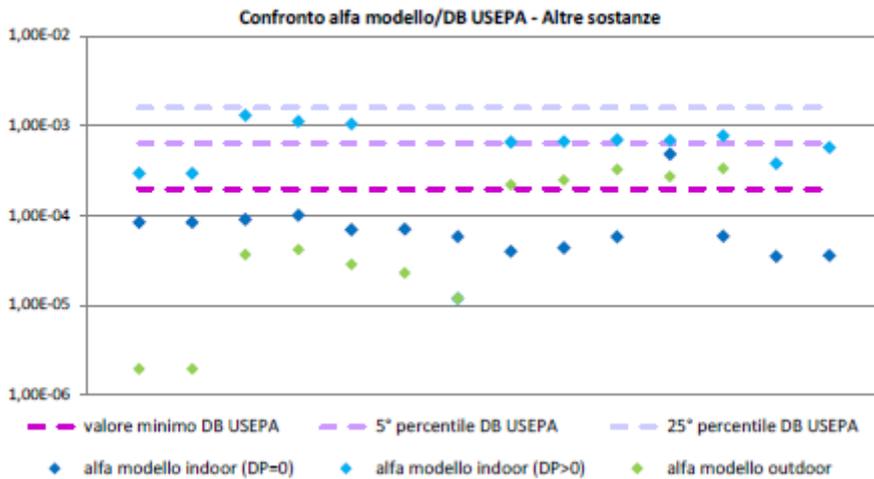


Fig 3.4 Confronto tra i valori di alfa derivati dai modelli di trasporto previsti dai software per i dati di soil gas ed alcune statistiche significative del database USEPA – Altre sostanze

Il confronto è stato effettuato con gli alfa del database USEPA derivati a partire dai dati di *soil gas* prelevati all'esterno dell'edificio.

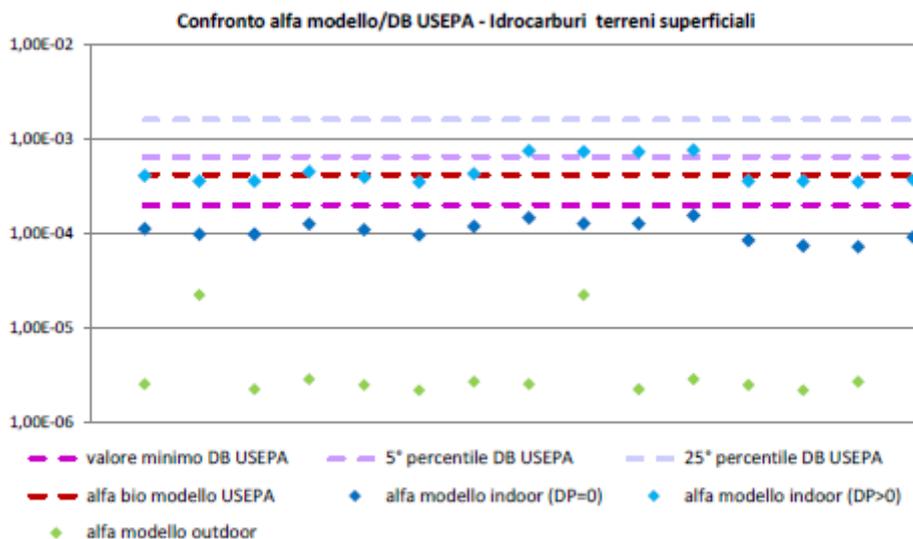


Fig 3.5 Confronto tra i valori di alfa derivati dai modelli di trasporto previsti dai software per i dati di soil gas ed alcune statistiche significative del database USEPA – Idrocarburi in terreni superficiali

Per Idrocarburi e BTEXS nei terreni superficiali è stato considerato anche l'UCL95 dei fattori alfa derivati dal modello di biodegradazione indicato da USEPA.

Il confronto è stato effettuato con gli alfa del database USEPA derivati a partire dai dati di soil gas prelevati all'esterno dell'edificio, visto che nei casi studio proposti non erano state effettuati campionamenti sotto soletta (sub-slab samples).

I valori di alfa derivati dal modello indoor diffusivo ($\Delta P = 0$) applicato ai dati di *soil gas* per le sostanze diverse dagli idrocarburi risultano, ad eccezione di un caso, sempre inferiori al valore minimo sperimentale riportato nel database USEPA. Considerando il contributo avvertivo ($\Delta P = 4$ Pa), i fattori di attenuazione aumentano fino ad un ordine di grandezza ma, salvo pochissimi casi, rimangono comunque al di sotto del 25° percentile del database USEPA. Questo vuol dire che nel 75% dei casi il valore di alfa previsto dal modello indoor, anche

considerando il contributo avvertivo, è inferiore a quanto determinato sperimentalmente nel database USEPA.

Per quel che concerne la contaminazione da idrocarburi, I valori di alfa derivati dal modello indoor diffusivo ($\Delta P = 0$) applicato ai dati di *soil gas* sono sempre inferiori all'UCL95 dei fattori alfa derivati dal modello di biodegradazione indicato da USEPA. Considerando il contributo avvertivo ($\Delta P = 4$ Pa), i fattori di attenuazione aumentano fino ad un ordine di grandezza risultando sostanzialmente paragonabili all'UCL 95 degli alfa da biodegradazione del modello USEPA.

In conclusione, si osserva che la letteratura ad oggi disponibile non consente purtroppo di fornire indicazioni su modelli consolidati da proporre in contesto nazionale in alternativa a quelli ad oggi adottati.

Per consentire l'adozione di nuovi modelli e/o nuovi fattori di trasporto, alla luce degli studi proposti da USEPA, calati nel contesto nazionale sono emerse le seguenti proposte di approfondimento tecnico/scientifico:

- raccogliere i casi studio di monitoraggio di aeriformi disponibili nell'ambito dell'SNPA al fine di predisporre un database nazionale che consenta di effettuare sia le correlazioni suolo/falda/soil gas/flusso che le correlazioni soil gas/flusso/aria ambiente in analogia al lavoro effettuato da USEPA;
- validare sui casi studio disponibili nuovi modelli di trasporto da suolo/falda, che superino le criticità di quelli disponibili e consentano di evitare il ricorso massiccio a misure di aeriformi nei siti contaminati;
- validare, sulla scorta delle informazioni raccolte nel database nazionale, nuovi modelli di trasporto dei gas interstiziali, che superino le criticità di quelli proposti da quelli attuali.

BIBLIOGRAFIA

Auer LH, Rosemberg ND, Birdsell KH, Withney EM, 1996 – The effects of barometric pumping on contaminant transport – *Journal of Contaminant Hydrology* 2002 24(2)

APAT, 2008 – Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati – <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/siti-contaminati-02marzo08.pdf>

Chiodini G., Cioni R., Guidi M., Raco B., 1998 – Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas - *Applied Geochemistry* 1998 13(5)

Choi JW, Tillman FD, Smith JA – Relative Importance of Gas-Phase Diffusive and Advective Trichloroethene (TCE) Fluxes in the Unsaturated Zone under Natural Conditions – *Environmental Science and Technology* 2002 36 (14)

De Jong E, 1973 – Evidence for significance of other-than-normal diffusion transport in soil gas exchange – a discussion – *Geoderma* 1973 10

Etiopio G, 1999 – Subsoil CO₂ and CH₄ and their advective transfer from faulted grassland to the atmosphere – *Journal of Geophysical Research* 1999 104 (14)

Etiopio G, Martinelli G, 2002 – Migration of carrier and trace gases in the geosphere: an overview – *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 2002 129

Johnson PC, Ettinger RA, 1991 – Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings – *Environmental Science & Technology*, - ACS Publications

Luo Y, Zhou X, 2006 – Soil Respiration and the Environment – Academic Press/Elsevier 2006

Porto G, Biasiolo A, Cecon I, Favaron M, Fraternali D, Casabianca D, 2015 – Interazioni suolo-atmosfera durante le misure di soil gas: Il caso del mercurio – RemTech 2015

Rey A, Belelli-Marchesini L, Were A, Serrano-Ortiz P, Etiopio G, Papale D, Domingo F, Pegoraro E, 2012 – Wind as a main driver of the net ecosystem carbon balance of a semiarid Mediterranean steppe in

the South East of Spain – *Global Change Biology* 2012 18

Scanlon BR, Nicot JP, Massmann JW, 2002 – Soil Gas Movement in Unsaturated Systems – *Soil Physics Companion* edited by A.W. Warric, 2002

USEPA, 2012 – EPA's Vapor Intrusion Database – https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer_2010_database_report_03-16-2012_final_witherratum_508.pdf

USEPA, 2013 – Evaluation of empirical data to support Soil Vapor Intrusion Screening Criteria for Petroleum Hydrocarbon Compounds – https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-09/.../pvi_database_report.pdf

USEPA, 2015 – Assessing and Mitigating the Vapor Intrusion Pathway from Subsurface Vapor Sources to Indoor Air – <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/oswer-vapor-intrusion-technical-guide-final.pdf>

USEPA, 2015b – Technical Guide for Addressing Petroleum Vapor Intrusion at Leaking Underground Storage Tank Sites – <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/pvi-guide-final-6-10-15.pdf>

Vecchio A, Falconi M, 2016 – Direct measures for a better management of inhalation risks from contaminated sites – SIDISA 2016

Waitz MFW, Freijer JL, Kreule P, Swartjes FA, 1996 – The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds – RIVM Report n. 715810014.

Waitz MFW, 2006 – Validation of the VOLASOIL model using air measurements from Dutch contaminated sites – RIVM Report n.711701041.

World Health Organization WHO (2000) – Regional Office for Europe Air Quality Guidelines for Europe, 2° Edition – WHO Regional Publications, European series n. 91

World Health Organization. WHO (2010) – Guidelines for indoor air quality: selected pollutants – WHO Regional Publications. Copenhagen– http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf

4: CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI PER AZIONI FUTURE

A cura di *Luciana Sinisi (ISPRA)* e *Gaetano Settimo (ISS)*

Come già esplicitato nelle pagine introduttive l'incarico del Consiglio Federale (oggi Consiglio SNPA) del Sistema delle Agenzie ambientali al GdL Salute e Ambiente SNPA (che ha visto anche la collaborazione di esperti dell'Istituto Superiore di Sanità) ad elaborare questo rapporto deriva principalmente dall'esperienza vissuta dalle Agenzie in contesti ambientali a forte pressione antropica industriale, dove l'intrusione in ambienti interni di inquinanti provenienti dall'aria atmosferica o dal sottosuolo poteva determinare condizione di esposizione a fattori di rischio indoor.

Il Rapporto, nel complesso panorama della gestione e prevenzione dei rischi da inquinanti chimici in aria indoor, si propone come un documento propedeutico che affronta un tema attuale e già sperimentato nell'operatività degli operatori di sanità pubblica e di alcune agenzie ambientali.

Il merito a quest'ultime le loro attività sono ben rappresentate dall'indagine condotta da ISPRA- SNPA per questo Rapporto i cui risultati sono dettagliati nell'Allegato 1.

Comunque l'intero documento, oltre all'obiettivo primario di definire elementi di background metodologici per una valutazione multisorgente dell'esposizione a inquinanti chimici in ambienti indoor in aree di particolare rilevanza ambientale, nel suo complesso offre spunti di riflessione per azioni future per una più organica e sinergica inclusione della matrice "aria indoor" nelle attività dei sistemi e delle reti di prevenzione ambientale e sanitaria e, non in ultimo, nell'intera governance della materia.

L'implementazione di tavoli tecnici ad hoc per ulteriore implementazione di procedure o standard di riferimento così come una maggiore integrazione delle valutazioni

dell'intrusioni degli inquinanti da diverse sorgenti è auspicabile ed anche fattibile.

Infatti nonostante la "scienza indoor" sia relativamente recente - di fatto un significativo impulso nelle esperienze governative, dell'OMS e nella ricerca istituzionale si registra a partire dagli anni 2000 - dai contenuti tecnici elaborati dagli esperti del network ambiente e salute di SNPA e ISS, nonché da tutte le attività descritte nel Rapporto, è legittimo desumere che l'Italia, pur sempre in assenza di una sistematica attività riconosciuta a livello legislativo si è dotata nel tempo di esperienza professionale e di capacità tecnico-scientifica.

Sono punti di forza che consentirebbe, nelle tematiche trattate e per la fattispecie di contesto nei siti a forte pressione ambientale, il supporto ad una programmazione che riguardi non solo attività propedeutiche a procedure valutative integrate, ma anche i dovuti investimenti nella formazione professionale, nelle risorse umane e tecnico scientifiche, nonché, non in ultimo, nel perfezionamento di procedure e metodologie di monitoraggio come avviene per l'aria atmosferica. Una capacità tecnica che darebbe consistenza anche all'interfaccia con gli aspetti di risk management che, nel caso dell'indoor, investe diverse figure professionali e diversi settori. Settori che, nella prassi vigente nel nostro Paese, non hanno molti spazi di comune consultazione.

E' stato già infatti menzionato che la qualità dell'aria in ambiente indoor è condizionata non solo da intrusione d'inquinanti atmosferici o dal sottosuolo ma anche dalla prevenzione delle proprie sorgenti inquinanti indoor (emissioni di COV da materiali, arredi e uso di prodotti di consumo), dalle caratteristiche degli edifici (stato di utilizzo, ricambi d'aria) e, per ultimo ma non in ultimo, dalla capacità di soluzioni tecnologiche alle criticità

evidenziate da monitoraggi e successive valutazioni dell'esposizione. Aree di lavoro che riguardano anche obiettivi di edilizia, produzione e consumo sostenibile.

In chiusura va anche rammentato che non è solo la ricerca ambientale o biomedica a promuovere una riflessione generale sull'indoor, anche altri fattori più contingenti (stili di vita, socio-economici, climatici) in qualche modo incalzano un impegno organico in materia di ambienti interni.

In generale è crescente la domanda privata e pubblica di un ambiente indoor non più basata sui soli elementi di comfort o sui più tradizionali requisiti igienico-sanitari, ma anche sugli aspetti di rischio chimico. Un indicatore ci viene anche dal mercato: più di un Rapporto di osservatori aziendali mostra a livello globale un trend di crescita costante negli anni 2000, specie in Asia, Europa e USA, del fatturato (media 4 miliardi di dollari) per vendite di attrezzature e strumenti finalizzati alla valutazione della *indoor air quality* (IAQ) e soluzioni innovative e tecnologiche. Entro il 2020, è stato stimato un raddoppio del fatturato.

In termini quantitativi, oggi gli scenari di rischio da inquinamento chimico indoor sono molto più diffusi rispetto al passato poiché collegati a fenomeni globali che hanno influenzato i nostri stili di vita e la qualità dell'ambiente costruito, tra questi il trend crescente di urbanizzazione con case più piccole e sovraffollate di persone, arredi e materiali e con stanze non dotate di ventilazione naturale o insistenti su aree molto trafficate che la scoraggiano, di un cattivo stato di conservazione e manutenzione delle strutture o, inoltre, al potenziamento di possibili sorgenti indoor d'inquinanti chimici, visto l'uso più diffuso di prodotti quotidiani e/o

materiali di largo consumo di natura prevalentemente sintetica.

Ma non è solo un problema di aumento quantitativo dei fattori di rischio, emergono anche aspetti qualitativi: le recenti attività della Commissione Europea sulle valutazioni (e la strategia di contrasto) degli effetti combinati alle sostanze chimiche ci ricorda la strategicità delle emissioni indoor dai diversi materiali e prodotti e la IAQ nell'esposizione a sostanze particolarmente prioritari come gli interferenti endocrini.

Per ultimo, ma non in ultimo, si è ormai consapevoli della potenziale influenza negativa dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria indoor: anomalie di temperature e i danni diretti agli edifici negli eventi meteorologici estremi concorrono alle modifiche dei parametri microclimatici indoor (temperatura, umidità), fattori che, insieme alla ventilazione, influenzano la chimica dell'aria indoor oltre che l'inquinamento biologico (muffe). La ventilazione inoltre può a sua volta essere negativamente influenzata da un upgrading energetico degli edifici che non tenga conto anche della valutazione degli effetti sulla qualità dell'aria; argomento affrontato nella recente Raccomandazione UE del 2016⁶ per l'inclusione delle considerazioni per lo IAQ nelle prassi di efficientamento energetico.

Molte sono quindi le sfide in essere che ci richiamano, come operatori, al confronto con la complessità dell'ambiente "costruito", un ambito non tradizionale per esperienza e cultura professionale dei sistemi di prevenzione pubblici di sanità e ambiente, che probabilmente richiede da una parte il potenziamento di attività già in essere, dall'altra nuovi percorsi, collaborazioni e figure professionali

⁶ Raccomandazione UE 2016/1318 del 29 luglio 2016, recante orientamenti per la promozione degli edifici a energia quasi zero: articolo 4, paragrafo 1: i requisiti minimi devono tener conto delle condizioni climatiche generali degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi, come una ventilazione inadeguata. Per evitare il deterioramento della qualità dell'aria negli ambienti interni, del

benessere e delle condizioni sanitarie del parco immobiliare europeo, il graduale inasprimento dei requisiti minimi di prestazione energetica derivante dall'attuazione in tutta Europa delle disposizioni relative agli edifici a energia quasi zero dovrebbe avvenire di pari passo con la messa in campo di strategie adeguate in materia di ambienti interni.

ALLEGATO I - ESPERIENZE NAZIONALI SUL TEMA ARIA INDOOR: IL SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

A cura di Silvia Brini, Giuliana Giardi, Arianna Lepore, Jessica Tuscano (ISPRA)

Nell'ambito delle attività del Gruppo di Lavoro Salute e Ambiente del SNPA, nello specifico per il POD N.59 "Sviluppo di elementi metodologici per la valutazione dell'esposizione all'inquinamento multisorgente dell'aria indoor con particolare riferimento alla popolazione residente in prossimità di impianti industriali", considerata la diversificazione di contesti di lavoro delle Agenzie in tema di aria indoor, si è ritenuto opportuno predisporre un questionario rivolto alle Agenzie allo scopo di raccogliere informazioni sulle attività svolte o in corso. Il questionario è stato predisposto come strumento di analisi quantitativa per cogliere i dati salienti in relazione alle finalità di ricerca del POD.

Il presente documento analizza i risultati dell'indagine avvenuta mediante la somministrazione di un questionario realizzato ad hoc.

Il questionario "La matrice aria indoor nelle attività del sistema delle Agenzie di Protezione Ambientale": obiettivi

Il questionario "La matrice aria indoor nelle attività del Sistema delle Agenzie di Protezione Ambientale" aveva come obiettivo raccogliere informazioni sulle attività di monitoraggio in ambienti indoor effettuate dalle Agenzie del SNPA, principalmente, ma non esclusivamente, nei pressi di aree industriali. Come base per il questionario sono state utilizzate le definizioni di:

- qualità dell'aria "indoor": riferita agli ambienti confinati di vita e di lavoro non industriali e, in particolare, a quelli adibiti a dimora, svago, lavoro e trasporto;

- "ambiente indoor" comprende: le abitazioni, gli uffici pubblici e privati, le strutture comunitarie (ospedali, scuole, caserme, alberghi, banche, ecc.), i locali destinati ad attività ricreative e/o sociali (cinema, bar, ristoranti, negozi, strutture sportive, ecc.) e infine i mezzi di trasporto pubblici e/o privati (auto, treno, aereo, nave, ecc.)⁷

Non sono state contemplate le esperienze relative al monitoraggio della qualità dell'aria outdoor secondo quanto disposto dal D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.⁸ e in ambito D.Lgs. 81/08⁹, mentre si sono considerate le esperienze di monitoraggio relative a quei luoghi di lavoro che, pur non essendo dedicati alla produzione industriale (uffici, spacci, mense, ecc.), sono presenti nel contesto dell'impianto. In tali casi, infatti, non sono applicabili le disposizioni previste dal D. Lgs. 81/08 s.m.i. relativamente al monitoraggio dell'esposizione inalatoria legata all'attività professionale.

Il questionario ha incluso anche la ricognizione di esperienze di monitoraggio contestuale di aria indoor e outdoor, finalizzati alla valutazione del contributo alla qualità dell'aria indoor difonti emissive esterne agli edifici, che pertanto possono comprendere anche le risultanze delle attività ordinarie di monitoraggio della qualità dell'aria relative al D.Lgs. 155/2010 e s.m.i.

Infine, sono state incluse le esperienze di monitoraggio, contestuale all'aria indoor, di matrici ambientali contaminate (suolo, acque di falda, gas del suolo) effettuate nell'ambito della gestione dei siti contaminati ai sensi del D.Lgs 152/06, Parte IV, Titolo V e s.m.i., purché

⁷ Accordo Stato-Regioni, Gazz. Uff. del 27/09/2001 n. 276, concernente "Linee - guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati".

⁸ Attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa".

⁹ Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

rilevanti per le finalità del questionario, ovvero effettuate in corrispondenza o in prossimità di impianti industriali. La ricognizione ha compreso tutte le attività svolte a partire da gennaio 2010 a febbraio 2017.

Nei casi in cui l'intervistato ha riportato di non aver eseguito monitoraggi, è stato invitato a esplicitare eventuali difficoltà dell'Agenzia ad effettuare misure di questo tipo.

La richiesta di compilazione del questionario è stata somministrata via mail, per il tramite dei partecipanti al GdL stesso e mediante la Rete dei referenti SNPA per il tematismo. Il questionario è stato preposto sulla piattaforma dei questionari SINANet dell'ISPRA.

Il questionario: struttura e caratteristiche

Il questionario ha compreso 26 domande per ogni rispondente, replicabili fino a comprendere un numero massimo di 10 campagne di monitoraggio, per arrivare ad un totale di 224 domande. Il fine ultimo era raccogliere informazioni riguardo una o più campagne di monitoraggio IAQ con la richiesta di:

- informazioni descrittive, personali e dell'ente di appartenenza;
- ambito di competenza,
- contestualizzazione,
- committenza,
- descrizione della sede e del periodo temporale,
- specifica degli ambienti/luoghi oggetto del monitoraggio,
- specifica di eventuale contemporaneo monitoraggio aria outdoor,
- specifica dei composti chimici monitorati,
- specifica delle misure di parametri microclimatici,
- monitoraggio di altre matrici ambientali (per es.: suolo, acque di falda, gas del sottosuolo),
- misure contemporanee di emissioni odorigene,
- valutazione della popolazione esposta e valutazione di rischio per la popolazione,
- materiale inerente alla campagna di monitoraggio (siti web, link o nome di pubblicazioni.) Il questionario è stato costruito prevedendo come tipologie di risposte:

- Risposte singole (si – no o precodificate),
- Risposte multiple (elenco in cui scegliere una o più delle opzioni),
- Risposte aperte (nel caso dell'opzione "Altro" la possibilità di una risposta libera),
- Risposte collegate alle sezioni precedenti o successive: in alcune sezioni, la risposta positiva o negativa costituisce vincolo per andare avanti o fermarsi.

Il questionario è stato sviluppato attraverso il programma Lime-survey, un applicativo distribuito con licenza GNU, scritto in PHP. Esso permette la realizzazione di questionari e sondaggi online, che possono includere ramificazioni, personalizzazioni grafiche grazie ad un sistema di template e fornisce statistiche sui risultati raccolti.

Questionario: sintesi dei risultati

In totale sono pervenuti 18 questionari compilati, provenienti da 12 Agenzie del SNPA. Sette Agenzie hanno dichiarato di aver effettuato campagne di monitoraggio di aria indoor (ARPA: Piemonte, Valle d'Aosta, Veneto, Emilia-Romagna, Umbria, Puglia e APPA Bolzano). In totale sono state comunicate informazioni su 16 progetti di monitoraggi indoor; in alcuni casi (ARPA Veneto, Emilia-Romagna e Puglia, APPA Bolzano) sono state effettuate più campagne di monitoraggio ad opera di una stessa Agenzia (Fig. I.1)

5 Agenzie hanno comunicato di non avere effettuato campagne di monitoraggio dell'aria indoor (ARPA Basilicata, Calabria, Marche, Sardegna, Sicilia) poichè l'aria indoor non rientra tra le attività svolte dalla propria Agenzia, ma hanno comunque partecipato alla rilevazione di informazioni di background richieste dal questionario da cui è emerso che la maggioranza degli intervistati ritiene che sia una competenza da sviluppare all'interno del proprio Ente.

A parere di questi intervistati varie sono le cause che ostacolano lo sviluppo di queste attività quali la carenza di personale, di formazione o di strumentazione; altre Agenzie riferiscono che la causa sia da ascrivere alla

mancanza di indicazioni legislative o normative per la definizione di standard di IAQ e target di controllo in edifici pubblici/residenziali, essenziali al fine di creare una rete di competenze e strumenti necessari ad

affrontare la problematica in oggetto; altre ancora riferiscono la presenza di competenze ma manifestano una carenza di richieste per campagne di monitoraggio.

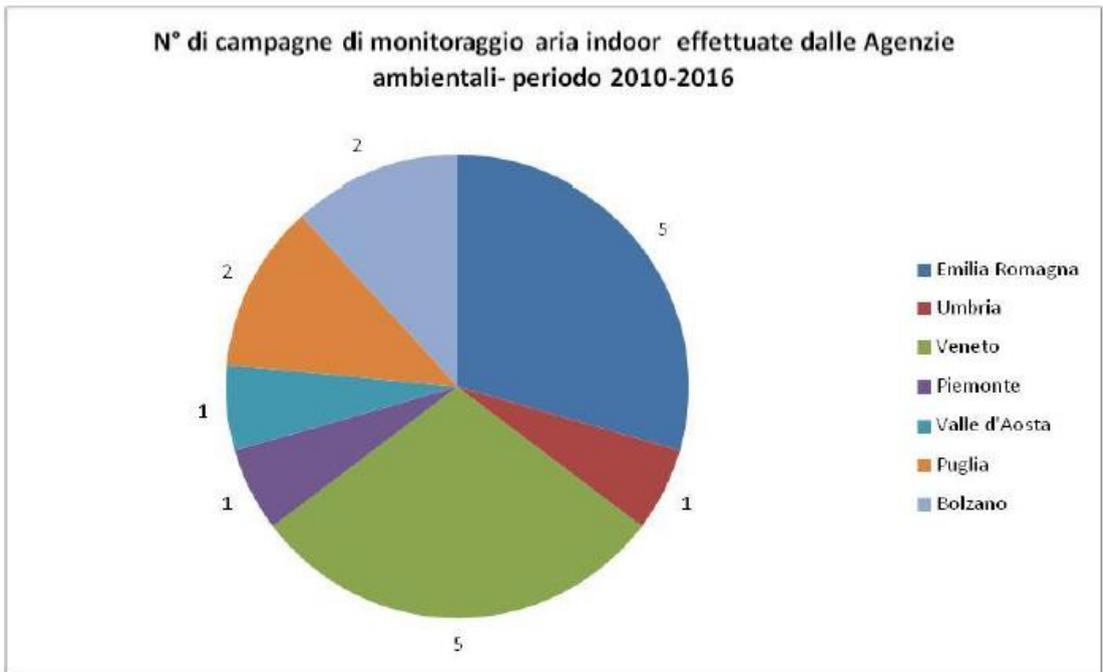


Figura I.1 Numero delle campagne di monitoraggio indoor suddivise per Agenzie che hanno effettuato monitoraggi indoor.

Andando ad analizzare le risposte che si riferiscono ai 16 progetti di monitoraggio (tabella I.1), la maggior parte delle campagne è stata eseguita in qualità di supporto tecnico per terze parti (soprattutto Regione, Comune, Asl).

I contesti normativi in cui si è operato riguardano nella maggioranza dei casi la normativa di bonifica dei siti contaminati e specifici progetti di ricerca. Il periodo temporale in cui i monitoraggi sono stati eseguiti varia dal 2007 (campagne “Scuole in provincia di Venezia” e “Piscine 2007” di ARPA Veneto); al 2016 (campagna “Siti contaminati – protocollo Portomarghera” di ARPA Veneto). Anche le Unità delle Agenzie che hanno eseguito il monitoraggio variano nelle diverse campagne

ma si rileva una maggiore frequenza delle Unità che si occupano di qualità dell’aria.

L’analisi delle tipologie di ambienti monitorati (figura I.2), evidenzia come le campagne d’indagine svolte in prossimità di attività industriali hanno riguardato in prevalenza le scuole, a seguire gli uffici e le attività commerciali, mentre per le campagne non in prossimità di aree industriali l’interesse è stato rivolto soprattutto ad abitazioni e scuole.

Nella maggior parte dei casi (14 campagne) è stato effettuato un monitoraggio simultaneo dell’aria outdoor; in 12 campagne il monitoraggio outdoor è avvenuto al di

fuori dell'ambito del D.Lgs. 155/2010, mentre nelle rimanenti 2 le indagini outdoor sono state effettuate nell'ambito di questo Decreto (campagna "Supersito 2012" di ARPAE Emilia-Romagna; campagna "Programma Straordinario Salute Ambiente –Taranto,

monitoraggio all'interno di un edificio scolastico situato in prossimità di siti ad alto impatto industriale" di ARPA Puglia).

Tabella I.2 Risultati sintetici dei questionari in cui sono riportate campagne o progetti di monitoraggio

Tabella I.2 Risultati sintetici dei questionari in cui sono riportate campagne o progetti di monitoraggio					
<i>Presso la tua Agenzia sono in corso o sono state eseguite campagne di monitoraggio d'inquinanti chimici in aria INDOOR?</i>	<i>Dai un nome alla campagna/ esperienza di monitoraggio:</i>	<i>1) La campagna di monitoraggio dell'aria indoor è stata eseguita in qualità di supporto tecnico per terze parti, in ambito di progetti finanziati o in attività di collaborazione con parti terze? 1a) Chi è stato il Richiedente di tali attività di monitoraggio?</i>	<i>2) In che contesto si è operato per la campagna di monitoraggio?</i>	<i>3) Descrivere brevemente la sede e il periodo temporale della campagna di monitoraggio effettuata.</i>	<i>4) Quale Unità della tua Agenzia ha eseguito il monitoraggio?</i>
Arpa Bolzano (1)	Formaldeide nelle scuole	Si (Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale) - Dipartimento Prevenzione – Azienda Sanitaria dell'Alto Adige	Altro: Circolare Ministero della Sanità nr. 57 - 1983	Le misure sono state effettuate all'interno di edifici scolastici di ogni ordine e grado, principalmente nei periodi di frequentazione più caldi	Laboratorio analisi aria e radioprotezione
Arpa Bolzano (2)	Aria viziata a scuola	Si (Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale) - Intendenze scolastiche	Altro: Educazione ambientale nelle scuole	Le misure sono state effettuate all'interno di aule scolastiche di ogni ordine e grado. Durante le ore di lezione sono stati posti dei monitor all'interno delle aule: gli studenti, osservando il display, avevano la possibilità di conoscere e modificare in tempo reale lo stato della qualità dell'aria.	Laboratorio analisi aria e radioprotezione
ARPAE Emilia-Romagna - Modena (1)	Supersito_2012	Si (Ente locale, Azienda sanitaria locale) Regione Emilia-Romagna	Progetti di ricerca	Sono state misurate le concentrazioni indoor e outdoor del particolato (massa PM2.5, distribuzione dimensionale e composizione chimica) in una zona ad alto	Centro Tematico Regionale Ambiente e Salute e Centro

					traffico e in una a basso traffico all'interno dell'area urbana di Bologna	Tematico Regionale Aree Urbane
ARPAE Emilia- Romagna - Modena (2)	Gioconda_2013	Si	Comunità Europea	Progetti di ricerca	Sono state condotte diverse campagne di monitoraggio all'interno e in prossimità di 2 edifici scolastici nel comune di Ravenna. Le misure sono state eseguite nel periodo 2013-2014	Sezione Provinciale di Ravenna e Centro Tematico Regionale Ambiente e Salute
ARPAE Emilia- Romagna - Modena (3)	Supersito_2013	Si	(Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale) Regione Emilia Romagna	Progetti di ricerca	E' stato effettuato un monitoraggio indoor e outdoor del particolato (massa PM2.5, distribuzione dimensionale e composizione chimica) sul fronte e sul retro di un edificio prospiciente una strada trafficata nella città di Bologna	Centro Tematico Regionale Ambiente e Salute e Centro Tematico Regionale Aree Urbane
ARPAE Emilia- Romagna - Modena (4)	Supersito_2014	Si	(Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale) Regione Emilia Romagna	Progetti di ricerca	Sono state eseguite campagne di monitoraggio in una abitazione di nuova costruzione (non ancora abitata) nell'area urbana di Modena. Il monitoraggio ha riguardato principalmente il particolato (massa)	Centro Tematico Regionale Ambiente e Salute e Centro
					PM2.5, distribuzione dimensionale e composizione chimica). Obiettivo principale era verifica della della variabilità stagionale dell'esposizione della popolazione al particolato	Tematico Regionale Aree Urbane
ARPAE Emilia- Romagna - Modena (5)	Carceri_2016	Si	(Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale) -Centro Controllo Malattie (CCM)	Progetti di ricerca	Sono state fatte misurazioni indoor di monossido di carbonio, biossido di azoto, composti organici volatili e PM2.5 in 19 carceri italiane nell'ambito di un progetto CCM in 4 Regioni Emilia Romagna, Toscana, Lombardia, Calabria	Centro Tematico Regionale Ambiente e Salute

ARPAE Emilia- Romagna - Piacenza	Campionamenti e analisi per inquinamento indoor post- trattamento di deumidificazione /2010-2013	Si	Privati o associazioni di cittadini	su richiesta specificata di privato	I campionamenti sono stati eseguiti all'interno di un'abitazione privata e sono stati ripetuti più volte nella provincia di Piacenza: nel 2010 e successivamente per due volte nel 2013	Area Monitoraggio e Valutazione ARIA
ARPA Piemonte	Campagna Monitoraggio vapori Agosto 2011 - Solvay Solexis	No		Normativa bonifica siti contaminati	Solvay Specialty Polymers Italy S.p.A. , Agosto 2011	Struttura di Produzione del Dipartimento di Alessandria, Polo Bonifiche e Struttura Rischio Industriale e Igiene Industriale di Arpa Piemonte
ARPA Puglia- CRA (1)	Programma Straordinario Salute Ambiente – Taranto monitoraggio all'interno di un edificio scolastico in prossimità di siti ad alto impatto industriale	Si	(Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale) Progetto finanziato dalla Regione Puglia	Programma straordinario Salute e Ambiente	Si è svolta una campagna di monitoraggio invernale (dall'11 al 22 dicembre 2014) all'interno dell' l'Istituto Comprensivo G. Galilei- Plesso Gabelli- Scuola dell'Infanzia – Primaria – Secondaria di I Grado in Via Verdi 1, nel quartiere Tamburi. Per i particolari della campagna si rimanda al BOX 1 del Rapporto	UOS Particolato Atmosferico e Olfattometria del Centro Regionale Aria
ARPA Puglia- CRA (2)	GIOCONDA: I GIOvani CONTano nelle Decisioni su	Si	Enti o Istituti di Ricerca o Università	Progetti di ricerca	Nell'ambito del progetto LIFE GIOCONDA (I GIOvani CONTano nelle Decisioni su Ambiente e salute), coordinato da IFC CNR, Unità di Epidemiologia ambientale e registri di patologia, sono state effettuate misure di qualità dell'aria e di rumore nelle vicinanze e	Dipartimento Provinciale di Taranto

	Ambiente e				all'interno di 8 scuole in 4 diverse città italiane con caratteristiche	
	salute				differenti in cui è stata valutata anche la percezione del rischio da parte degli studenti e la loro disponibilità a pagare per il miglioramento di ambiente e salute.	
ARPA Umbria	Siti contaminati Perugia Balanzano 2015 Siti contaminati Città di Castello RioSecco 2016 Siti Contaminati Perugia Balanzano 2016	Si	(Ente locale, Azienda sanitaria locale) Comune	Normativa bonifica siti contaminati	Monitoraggio Indoor in abitazioni e attività produttive in sito contaminato da Tetracloroetilene Perugia Balanzano Estate 2015 Monitoraggio Indoor in abitazioni e locali commerciali in sito contaminato da Tetracloroetilene Città di Castello RioSecco	Servizio Reti Monitoraggio Qualità dell'Aria (analisi in Laboratorio Arpa)
ARPA Valle d'Aosta	Fitodepurazione aria indoor	Si	(Ente locale, Azienda sanitaria locale) Regione - Ass. Attività Produttive	Progetti di ricerca	La campagna è stata realizzata in diverse tipologie di ambienti di indoor nella città di Aosta e dintorni. La campagna è stata condotta nel periodo giugno-novembre 2015	Sezione Aria
ARPA Veneto (1)	Siti Contaminati protocollo Portomarghera 2016;	Si	Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale	Normativa bonifica siti contaminati	Ditta presso Porto Marghera Uffici e zona produttiva indoor campagna di 1 giornata settembre 2016 a seguito di valutazione di potenziale rischio inalazione di solventi	U.O. Aria / U.O SIN
ARPA Veneto (2)	Scuole provincia di Venezia	Si	Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale	Gestione emergenze ambientali	2007-2009 scuole non soggette a contaminazione ambientale della provincia di venezia e scuole con contaminazione dovuta a materiali da costruzione	UO Aria
ARPA Veneto (3)	Odore compostaggio	No		(altro) Indagine a fini conoscitivi	Autunno 2011 azienda di compostaggio in provincia di Padova	UO Aria

ARPA Veneto (4)	Piscine 2007	Si	Ministero, Ente locale, Azienda sanitaria locale	Progetto in ambito regionale	Aprile Luglio 2007 presso piscine della regione Veneto	UO Aria/UO Agenti Fisici
ARPA Veneto (5)	Scuola materna - gasolio	N O		Normativa bonifica siti contaminati	Scuola materna in provincia di Venezia 2010•2011	UO Aria/SRIB

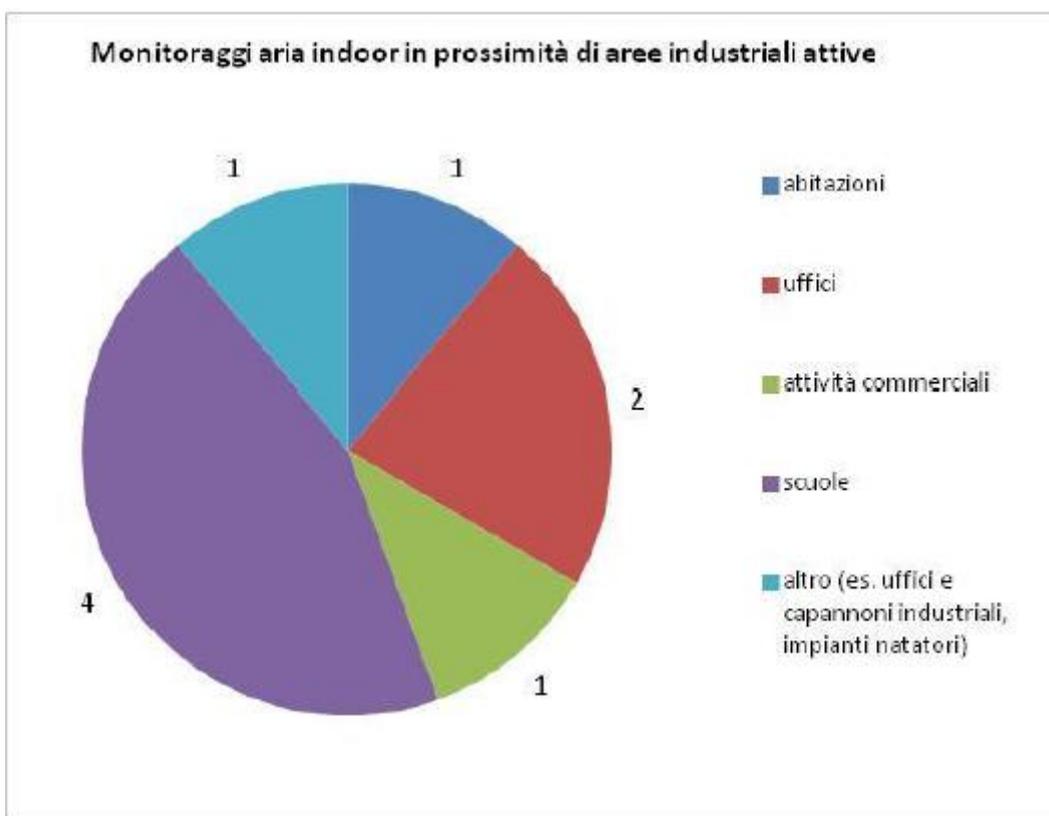


Figura I.2 Tipologia degli ambienti indoor monitorati in prossimità di aree industriali attive.

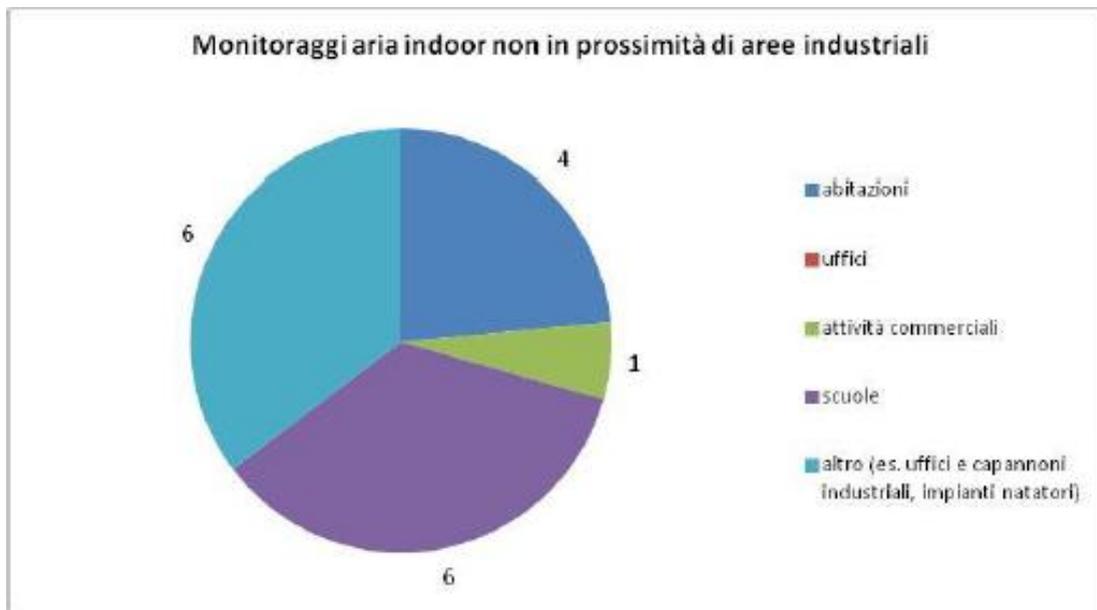


Figura I.3 Tipologia degli ambienti indoor monitorati non in prossimità di aree industriali

Nelle campagne di monitoraggio, gli inquinanti chimici maggiormente ricercati sono i composti organici volatili non metanici, il particolato atmosferico, gli ossidi di azoto

e il benzene (figura I.4). In nessuna campagna sono stati ricercati diossine e furani, anidride carbonica, ozono, biossido di zolfo, metano, ammoniaca e amianto

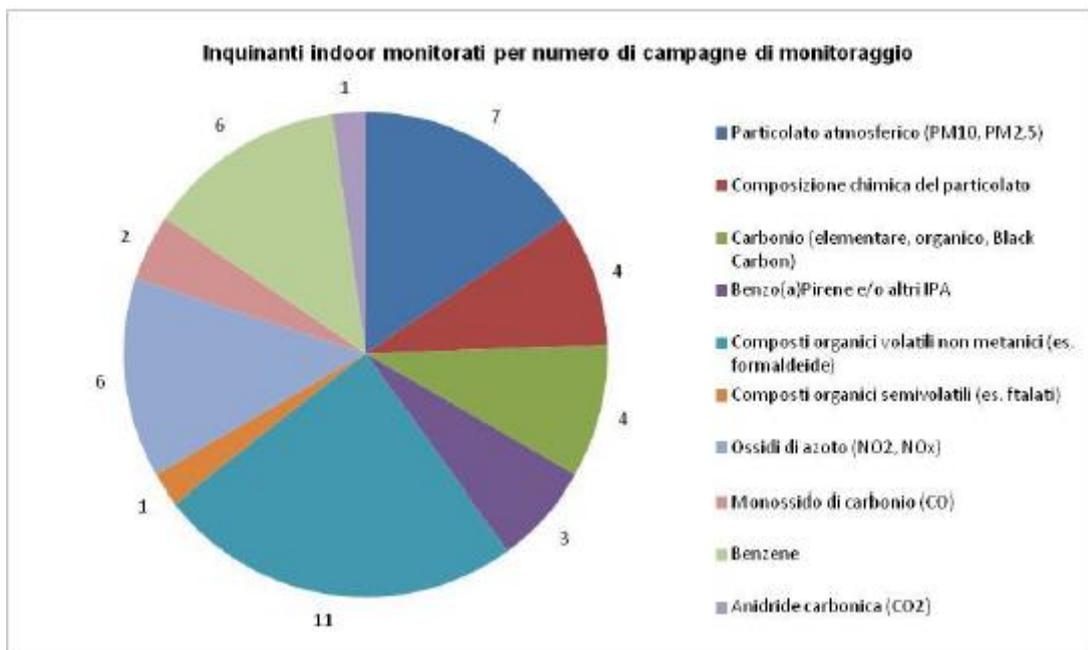


Figura I.4: Numero di campagne per composti chimici oggetto del monitoraggio indoor.

Una specifica domanda del questionario era rivolta a reperire informazioni riguardo eventuali misurazioni dei parametri microclimatici effettuate contemporaneamente a quelle dei composti chimici. Nella metà dei casi (8 campagne) sono stati rilevati simultaneamente anche la temperatura (8 campagne), l'umidità (6) e la ventilazione (1). Solo in un caso (ARPA Veneto, campagna "Piscine 2007") sono stati misurati tutti e tre i parametri.

Il questionario riservava anche una specifica domanda a eventuali monitoraggi di altre matrici ambientali, oltre

l'aria, in quanto potenziali sorgenti emissive d'inquinanti (tabella I.3): solo 4 campagne hanno riguardato il simultaneo monitoraggio di aria indoor e di altre matrici ambientali e in particolare sono stati monitorati il suolo (1 caso), le acque sotterranee (1), le acque superficiali (1), gas dal sottosuolo (2). In due campagne sono state rilevate anche le emissioni odorigene provenienti dagli impianti industriali.

Tabella I.3 Numero di casi in cui sono stati effettuati anche un monitoraggio simultaneo di altre matrici ambientali e un simultaneo monitoraggio di emissioni odorigene provenienti dagli impianti industriali.

Tabella I.3: numero di casi in cui sono stati effettuati anche un monitoraggio simultaneo di altre matrici ambientali e un simultaneo monitoraggio di emissioni odorigene provenienti dagli impianti industriali.							
	N.	Suolo	Acque sotterranee	Acque superficiali	Gas del sottosuolo (soil gas)	Altro	Emissioni odorigene
Si	4	1	1	1	2	campioni di manufatti/ materiali edili, acque di piscina	2
No	12	-	-	-	-	-	14

Le ultime domande riguardavano l'eventuale valutazione della popolazione esposta e la valutazione di rischio per la popolazione ricadente nell'indagine. Solo in due casi sono state eseguite le due valutazioni, in particolare nella campagna "Scuole provincia Venezia" di ARPA Veneto e nella campagna "Siti contaminati" di ARPA Umbria. Nel caso della valutazione di rischio per la popolazione, una è stata realizzata su base tossicologica (ARPA Veneto, campagna "Scuole provincia Venezia") mentre l'altra su base sia tossicologica sia epidemiologica (ARPA Umbria, campagna "Siti contaminati").

Conclusioni relative all'analisi dei risultati del questionario

L'obiettivo della presente analisi è stato quello di verificare se e come le Agenzie Regionali e delle Province autonome per la Protezione dell'Ambiente

fossero impegnate sul campo dell'inquinamento dell'aria indoor. L'assenza di veri e propri riferimenti normativi nazionali in materia e, inoltre, la mancanza di uno specifico mandato tecnico alle Agenzie riguardo l'IAQ, sono probabilmente la causa di un numero piuttosto esiguo di campagne di monitoraggio rilevate dal questionario e del ridotto numero di esperienze di valutazione dell'IAQ presso le Agenzie.

Tuttavia è evidente l'interesse che la materia suscita anche da parte di quelle Agenzie che non hanno al loro attivo campagne di monitoraggio. Inoltre, essendo le Agenzie spesso chiamate ad interventi sul territorio per conto di enti terzi, ad es. aziende sanitarie o regioni, personale con esperienza in materia e strumentazioni adatte sono ritenute importanti per far fronte ad eventuali richieste o necessità contingenti.

ALLEGATO II - NORME UNI EN E ISO PER GLI AMBIENTI INDOOR

Tabella II.1. Elenco Norme EN ISO per gli ambienti confinati (in grigio le parti non ancora recepite in Italia dall'UNI)

Tabella II.1. Elenco Norme EN ISO per gli ambienti confinati (in grigio le parti non ancora recepite in Italia dall'UNI)	
Norme UNI EN ISO	
16000	Aria in ambienti confinati
Parte 1	Aspetti generali della strategia di campionamento
Parte 2	Strategia di campionamento per la formaldeide
Parte 3	Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method
Parte 4	Determination of formaldehyde - Diffusive sampling method
Parte 5	Strategia di campionamento per i composti organici volatili (VOC)
Parte 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
Parte 7	Strategia di campionamento per la determinazione di concentrazioni di fibre di amianto sospese in aria
Parte 8	Determination of local mean ages of air in buildings for characterizing ventilation conditions
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
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
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
Parte 12	Strategia di campionamento per policlorobifenili (PCB), policlorodibenzo-p-diossine (PCDD), policlorodibenzofurani (PCDF) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA)
Parte 13	Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans - Collection on sorbent-backed filters with high resolution gas chromatographic/mass spectrometric analysis
Parte 14	Determination of total (gas and particle-phase) polychlorinated dioxin-like biphenyls (PCBs) and polychlorinated dibenzo-p-dioxins/dibenzofurans (PCDDs/PCDFs) – Extraction, clean up, and analysis by high-resolutions gas chromatographic and mass spectrometric analysis
Parte 15	Strategia di campionamento per diossido di azoto (NO ₂)
Parte 16	Detection and enumeration of moulds. Sampling of moulds by filtration
Parte 17	Detection and enumeration of moulds. Culture-based method

Parte 18	Detection and enumeration of moulds. Sampling by impaction
Parte 26	Strategia di campionamento per l'anidride carbonica (CO2)
UNI EN ISO16017	Aria in ambienti confinati, aria ambiente e aria negli ambienti di lavoro. Campionamento e analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare
Parte 1	Campionamento mediante aspirazione con pompa
Parte 2	Campionamento per diffusione

UNI EN 13528	Qualità dell'aria ambiente Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e vapori. Requisiti e metodi di prova
Parte 1	Requisiti generali
Parte 2	Requisiti specifici e metodi di prova
Parte 3	Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione
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

Tabella II.2. Elenco delle principali norme ISO prodotte per gli ambienti confinati

Tabella II.2. Elenco delle principali norme ISO prodotte per gli ambienti confinati	
ISO 16000 Indoor air	
Part 19	Sampling strategy for moulds
Part 20	Detection and enumeration of moulds - Determination of total spore count
Part 21	Detection and enumeration of moulds - Sampling from materials
Part 23	Performance test for evaluating the reduction of formaldehyde concentrations by sorptive building materials
Part 24	Performance test for evaluating the reduction of volatile organic compound (except formaldehyde) concentrations by sorptive building material
Part 25	Determination of the emission of semi-volatile organic compounds by building products Micro-chamber method
Part 27	Determination of settled fibrous dust on surfaces by SEM (scanning electron microscopy) (direct method)
Part 28	Determination of odour emissions from building products using test chambers
Part 29	Test methods for VOC detectors
Part 30	Sensory testing of indoor air
Part 31	Measurement of flame retardants and plasticizers based on organophosphorus compounds- Phosphoric acid ester

Part 32	Investigation of buildings for pollutants and other injurious factors - Inspections
ISO 12219 Interior air of road vehicles	
Part 1	Whole vehicle test chamber - Specification and method for the determination of volatile organic compounds in cabin interiors
Part 2	Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Bag method
Part 3	Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Micro-scale chamber method
Part 4	Method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Small chamber method
Part 5	Screening method for the determination of the emissions of volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Static chamber method
Part 6	Method for the determination of the emissions of semi-volatile organic compounds from vehicle interior parts and materials - Small chamber method
Part 7	Odour determination in interior air of road vehicles and test chamber air of trim components by olfactory measurement



R SNPA
12 2020

