



Università  
Bocconi  
GREEN  
Centro di ricerca sulla geografia,  
le risorse naturali, l'energia,  
l'ambiente e le reti



# I COSTI SOCIALI DELL'INQUINAMENTO *INDOOR* NELLE SCUOLE E NEGLI OSPEDALI ITALIANI

Rapporto di Sintesi dell'attività di ricerca  
dell'Osservatorio sulla Qualità dell'Aria *Indoor* (OQAI)  
delle Università degli Studi Milano-Bicocca e Università  
Bocconi

Biennio 2023 - 2024

Ezio Bolzacchini<sup>a</sup>, Susanna Dorigoni<sup>b</sup>, Luca Ferrero<sup>a</sup>, Antonio Sileo<sup>b</sup>



# OQAI

## Clean your Indoor

<sup>a</sup> Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra (DISAT), Università degli Studi Milano-Bicocca:  
<https://www.disat.unimib.it>

<sup>b</sup> Centro di Ricerca sulla Geografia, le Risorse Naturali, l'Energia, l'Ambiente e le Reti (GREEN), Università Bocconi:  
<https://green.unibocconi.eu>

*Il presente studio è frutto della collaborazione tra gli atenei coinvolti e un pool di imprese/associazioni che hanno partecipato al progetto fornendo un fondamentale apporto in termini di competenze e spunti di riflessione:*

**AIISA - Associazione Italiana Igienisti Sistemi Aeraulici**

**ALISEA S.r.l.**

**ANIMA Confindustria meccanica varia**

**CAREL INDUSTRIES S.p.A.**

**DAIKIN AIR CONDITIONING ITALY S.p.A.**

**FS Italiane S.p.A.**

**SIRAM VEOLIA S.P.A.**

*A queste ultime vanno i nostri più sentiti ringraziamenti così come al Dott. Fabio Romeo, Responsabile Inquinamento atmosferico e Qualità dell'Aria presso la Direzione Generale Valutazioni Ambientali del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), e al Dott. Gaetano Settimo, Coordinatore del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor dell'Istituto Superiore di Sanità che hanno seguito attivamente lo sviluppo dell'attività di ricerca contribuendo a definirne obiettivi e contenuti.*

Gennaio 2025

## **INTRODUZIONE**

### **1. IL CONTESTO NORMATIVO**

#### **1.1 La Tassonomia europea**

1.1.1 L'Atto Delegato Clima

1.1.2 L'Atto Delegato Ambiente

#### **1.2 La revisione della Direttiva sulla Qualità dell'Aria Ambiente (AAQ)**

#### **1.3 La Direttiva sulla *Performance* Energetica degli Edifici**

1.3.1 La Direttiva EPBD e la qualità degli ambienti interni

1.3.1.1 La qualità dall'aria interna

#### **1.4 La *Corporate Sustainability Reporting Directive***

1.4.1 Gli *standard* sociali

#### **1.5 Verso un quadro regolatorio relativo alla qualità dell'aria *indoor***

### **2. LE VARIABILI DETERMINANTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO *INDOOR* E IL CONCETTO DI DALY**

2.1 Le Variabili determinanti

2.2 La definizione di DALY

2.3 Il calcolo DALY/anno

2.4 I casi studio

2.4.1 Le scuole

2.4.2 Gli ospedali

### **3. I COSTI ESTERNI DA INQUINAMENTO ATMOSFERICO *INDOOR* NELLE SCUOLE E NEGLI OSPEDALI ITALIANI**

3.1 Le principali metodologie di valorizzazione economica della mortalità e della morbilità da inquinamento atmosferico

3.2 I costi sociali da inquinamento *indoor* nelle scuole italiane

3.2.1 I costi sociali da inquinamento *indoor* nella scuola primaria italiana

3.2.2 I costi sociali da inquinamento *indoor* nella scuola secondaria di primo grado italiana

3.3 I costi sociali dell'inquinamento indoor negli ospedali

### **4. CONCLUSIONI**

## **BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUZIONE

Il tema della qualità dell'aria indoor (*Indoor Air Quality – IAQ*) fino ad oggi scarsamente trattato, sia a livello politico che economico, è tornato prepotentemente in auge a seguito della pandemia da Coronavirus e delle evidenze fornite da numerosi studi scientifici<sup>1</sup> secondo cui elevate concentrazioni di particolato atmosferico contribuiscono alla diffusione del virus SARS-CoV-2.

La IAQ, oltre a rappresentare un importante problema di salute, anche in considerazione del fatto che trascorriamo oltre il 90% della nostra esistenza in ambienti chiusi, ha considerevoli impatti economici.

Si calcola infatti che ogni anno, nell'Unione Europea, la scarsa qualità dell'aria *indoor*<sup>2</sup> comporti la perdita di alcuni milioni di anni di vita in salute causando una significativa *productivity loss* per il sistema economico e generando enormi costi per la pubblica sanità<sup>3</sup>.

La recente evoluzione del quadro normativo-istituzionale europeo, sia sul fronte dell'inquinamento atmosferico e della de-carbonizzazione del parco edilizio che su quello degli obblighi di rendicontazione aziendale di sostenibilità, suggerisce l'imminenza di una regolazione specifica della materia in un contesto di mercato che sarà caratterizzato da un ripensamento della qualità dei servizi erogati in ambienti confinati ad elevata concentrazione umana, e in cui la tutela della salute costituirà un fattore competitivo chiave per le imprese che li producono.

E' a valle delle summenzionate considerazioni che è nato, dalla collaborazione tra il GREEN (*Centro di Ricerca sulla Geografia, le Risorse naturali, l'Energia, l'Ambiente e le Reti*) dell'Università Bocconi e il DISAT (*Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra*) dell'Università degli Studi Milano-Bicocca, l'Osservatorio sulla Qualità dell'Aria Indoor (OQAI).

L'obiettivo è stato quello di creare un polo stabile di ricerca multidisciplinare su una tematica destinata ad avere una rilevanza crescente e "trasversale". La graduale integrazione del tema qualità dell'aria *indoor* nel concetto di "sostenibilità" è infatti destinata a stimolare investimenti in sicurezza e responsabilità sociale<sup>4</sup> e a modificare le dinamiche di valutazione dei mercati che andranno oltre gli aspetti meramente finanziari, inglobando quelli di tipo ambientale e sociale su cui le imprese sono chiamate ad una *disclosure* sempre più "spinta"<sup>5</sup>, con importanti ricadute sulle loro *performance* finanziarie.

---

<sup>1</sup> Si vedano i contributi di RESCOP (*Research Group on Covid 19 and Particulate matter*), task force di ricerca internazionale promossa dalla Società Italiana di Medicina Ambientale (SIMA) <https://www.simaitalia.org/?s=RESCOP>

<sup>2</sup> <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/4beb6973-83f8-49a9-a6c8-d31a6d75a247>

<sup>3</sup> Si parla di 1000 miliardi di euro l'anno imputabili alle giornate lavorative perse, alle spese sanitarie, alla perdita di raccolti, ai danni agli edifici.

<sup>4</sup> Investimenti ESG.

<sup>5</sup> Si vedano la Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) e gli European Sustainability Reporting Standards ad essa collegati: [https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting\\_en](https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en)

La trasversalità della tematica oggetto di studio è legata all'elevato numero degli ambiti coinvolti, sia nel settore pubblico che in quello privato: dagli edifici della pubblica amministrazione alle scuole, dagli ospedali agli uffici; dai locali della grande distribuzione ai luoghi ricreativi, dal settore della ristorazione a quello alberghiero, dai mezzi di trasporto su strada e rotaia, alle navi da crociera e agli aerei.

Nel presente *Report* vengono illustrati i primi risultati di ricerca dell'Osservatorio.

Nella prima sezione viene ricostruito il contesto normativo afferente la tematica oggetto di studio. Nella seconda parte vengono illustrate le variabili determinanti dell'inquinamento atmosferico *indoor* e vengono definiti il concetto di *Disability Adjusted Life Year* (DALY) e la metodologia per il loro calcolo. Nella terza sezione saranno presentati i metodi di valorizzazione dei costi esterni da inquinamento atmosferico *indoor* e le valutazioni economiche relative ad alcuni ambienti confinati di comunità e, per il momento, ai soli impatti generati sulla salute umana dal particolato.

Giova ricordare che in ambiente *indoor* rilevano anche altri inquinanti quali, ad esempio, il Radon, che è oggetto di specifica legislazione comunitaria<sup>6</sup> e nazionale<sup>7</sup>, che non vengono presi in considerazione così come il ruolo svolto dalla CO<sub>2</sub> e dall'umidità relativa.

Tali variabili saranno analizzate nel prosieguo della ricerca.

L'attività dell'Osservatorio è concepita come un *continuum* con l'obiettivo di arrivare a monetizzare i costi esterni da inquinamento atmosferico di tutti gli ambienti di comunità, ciascuno caratterizzato dalle sue specifiche tecnico-economiche, di prendere parte al processo di *policy making* attualmente *in itinere* e di diffondere la consapevolezza che la tutela della salute umana in termini di qualità dell'aria respirata negli ambienti confinati di quotidiana frequentazione è destinata a diventare un fattore competitivo chiave, oltre che in generale per tutte le imprese che sono chiamate a tutelare la salute dei propri dipendenti sui luoghi di lavoro, per quelle produttrici di servizi erogati in ambienti chiusi (pubblici e privati), che i produttori di tecnologia saranno chiamati ad "abilitare".

---

<sup>6</sup> Direttiva 2019/59/UE – Euratom.

<sup>7</sup> D.lgs. 101 del 31.7.2020 - *Valutazione del rischio di esposizione al gas RADON negli ambienti lavorativi e residenziali*, D.lgs. 203 del 25.11.2022 – *Disposizioni integrative e correttive al D.lgs. 101/2020*.

## 1. IL CONTESTO NORMATIVO

Ad oggi, a differenza della qualità dell'aria ambiente, ampiamente normata a livello europeo<sup>8</sup>, per la qualità dell'aria *indoor* esistono solo norme nazionali che rientrano nell'ambito di discipline di tipo tecnico<sup>9</sup> o disposizioni che riguardano la sicurezza sui luoghi di lavoro<sup>10</sup>.

Dalla metà degli anni '80 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) emana e rivede periodicamente le *Air Quality Guidelines*<sup>11</sup> (AQGs) che si basano sullo stato attuale delle conoscenze scientifiche sui rapporti causa effetto dell'esposizione della popolazione agli inquinanti atmosferici. Si tratta di valori non vincolanti che rappresentano però un riferimento per la definizione di quelli legali.

Inquinante	Rif. temporale	OMS 2021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OMS 2005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM <sub>10</sub>	Media annua	15	20
	Media giornaliera	45	50
PM <sub>2,5</sub>	Media annua	5	10
	Media giornaliera	15	25
NO <sub>2</sub>	Media annua	10	40
	Media giornaliera	25	-
SO <sub>2</sub>	Media giornaliera	40	20
CO	Media giornaliera	4 mg/m <sup>3</sup>	-

Tabella 1. Le nuove Linee Guida sulla qualità dell'aria dell'OMS: confronto con la versione precedente

Le ultime due decadi si sono contraddistinte per una maggior diffusione delle reti di monitoraggio delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera e, quindi, per un aumento

<sup>8</sup> [https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en)

<sup>9</sup> Il riferimento va in particolare alla norma UNI 10339 del 1995, peraltro ritirata senza sostituzione a luglio 2024.

<sup>10</sup> Testo unico sicurezza e salute nei luoghi di lavoro: <https://www.vegaengineering.com/wp-content/uploads/2024/03/D-Lgs-81-2008-e-smi.pdf>

<sup>11</sup> <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345334/9789240034433-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

considerevole del numero e dell'affidabilità degli studi relativi agli effetti sanitari avversi dell'esposizione della popolazione a determinati livelli di concentrazione di inquinanti.

Ciò ha portato alla revisione del 2021 che segna riduzioni rilevanti dei valori guida per tutti gli inquinanti (ad eccezione del biossido di zolfo) e l'introduzione di un valore guida sulla media giornaliera del biossido di azoto, precedentemente non presente.

L'OMS ha anche definito degli *Interim Target* (IT) ovvero livelli di riferimento più alti da considerare come obiettivi futuri intermedi per la definizione di un percorso di riduzione.

I quattro IT per il PM<sub>2,5</sub> sono ad es. pari a 10 µg/m<sup>3</sup> (IT4), 15 µg/m<sup>3</sup> (IT3), 25 µg/m<sup>3</sup> (IT2) e 35 µg/m<sup>3</sup> (IT1).

L'OMS chiarisce per la prima volta che i valori sono riferiti anche all'aria interna aprendo il finalmente il varco ad una regolamentazione specifica sugli ambienti *indoor*.

## 1.1 La Tassonomia europea

Il Regolamento UE 2020/852 ha introdotto nel sistema normativo europeo la **Tassonomia delle attività economiche eco-compatibili**, una classificazione delle attività che possono essere considerate sostenibili in base all'allineamento agli obiettivi ambientali dell'Unione Europea e al rispetto di alcune clausole di carattere sociale.

I criteri di vaglio tecnico<sup>12</sup> che tali attività devono rispettare sono stati definiti in alcuni Atti Delegati che consentono di stabilire a quali condizioni ciascuna attività economica fornisca un contributo sostanziale ad almeno uno dei sei obiettivi ambientali identificati (Substantial Contribution Criteria) senza arrecare danni significativi a nessuno degli altri cinque (clausola "Do No Significant Harm - DNSH").

Gli obiettivi ambientali sono i seguenti:

- la mitigazione del cambiamento climatico;
- l'adattamento al cambiamento climatico;
- l'uso sostenibile e protezione delle risorse idriche e marine;
- la transizione verso un'economia circolare;
- la prevenzione e il controllo dell'inquinamento;
- la protezione e ripristino della biodiversità e degli ecosistemi.

I primi due obiettivi ed i criteri per la contribuzione sono stati illustrati nell'Atto Delegato Clima<sup>13</sup>, successivamente integrato dall'Atto Delegato Complementare<sup>14</sup> relativo ad alcune attività economiche legate al gas naturale e all'energia nucleare, mentre a giugno 2023 è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea il Regolamento delegato 2023/2486 che fissa i criteri di vaglio tecnico per determinare a quali condizioni un'attività economica possa essere considerata come in grado di contribuire in modo sostanziale all'uso sostenibile e alla protezione delle acque e delle risorse marine, alla transizione verso un'economia circolare, alla prevenzione e alla riduzione dell'inquinamento o alla protezione e al ripristino

---

<sup>12</sup> Technical Screening Criteria – TSC.

<sup>13</sup> AD 2139/2021.

<sup>14</sup> AD 2022/1214.

della biodiversità e degli ecosistemi senza arrecare un danno significativo a nessun altro obiettivo ambientale”.

La tassonomia può essere considerata una guida:

- per le imprese, al fine di valutare le proprie attività, definire politiche aziendali in ottica di una maggiore sostenibilità ambientale e per rendicontare agli *stakeholder* in modo più completo e comparabile;
- per gli investitori e le banche, per integrare i temi di sostenibilità nelle politiche d’investimento e per comprendere l’impatto ambientale delle attività economiche nelle quali investono o potrebbero investire;
- per le istituzioni, che dovranno utilizzarla per definire e migliorare le proprie politiche di transizione ecologica.

In base a quanto previsto dall’art. 8 del Regolamento UE 2020/852, le organizzazioni soggette alla Direttiva sulla rendicontazione non finanziaria (*Non-Financial Reporting Directive - NFRD*<sup>15</sup>), oggi sostituita dalla nuova Direttiva sulla rendicontazione di sostenibilità delle imprese (*Corporate Sustainability Reporting Directive - CSRD*<sup>16</sup>) saranno tenute a divulgare a partire dal 2025 informazioni in merito all’allineamento alla Tassonomia utilizzando alcuni indicatori: fatturato, spesa in conto capitale e spesa operativa.

### 1.1.1 L’Atto Delegato Clima

Nell’Atto Delegato sul Clima, per tutte le attività economiche considerate, vengono specificati, oltre i criteri qualitativi e quantitativi il cui rispetto è necessario affinché tali attività possano ritenersi tali da contribuire alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti e alla mitigazione dei cambiamenti climatici, i criteri che devono essere osservati affinché sia rispettato anche l’obiettivo di controllo e prevenzione dell’inquinamento atmosferico: tra i parametri che devono essere osservati ai fini del principio DNSH vengono previste misure volte alla limitazione delle emissioni di inquinanti locali.

Tali criteri fanno in generale riferimento alla conformità con Direttive di settore pre-esistenti e/o alle migliori tecnologie disponibili<sup>17</sup> stabilendo come le emissioni inquinanti debbano essere comprese o inferiori ai livelli di emissione associati alle migliori tecniche disponibili (BAT-AEL<sup>18</sup>) specificati nelle più recenti conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT), comprese le conclusioni sulle migliori tecniche disponibili (BAT) per i grandi impianti di combustione.

Nella parte dedicata ai criteri tecnici di contributo sostanziale relativi all’obiettivo di mitigazione dei cambiamenti climatici, nella sezione dedicata a “*Construction and real estate*” vengono poi considerate le seguenti attività:

- 7.1 *Construction of new buildings;*
- 7.2 *Renovation of existing buildings;*

---

<sup>15</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0095>

<sup>16</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464>

<sup>17</sup> Best Available Techniques – BAT.

<sup>18</sup> Best Available Techniques Associated Emissions Level.

- 7.3 *Installation, maintenance and repair of energy efficiency equipment.*

Per tutte e tre sono fissati dei parametri che devono essere rispettati al fine di considerare l'attività eco-sostenibile.

Più precisamente si tratta di criteri la cui osservanza assicura (anche) che l'attività in questione non arrechi un danno significativo all'obiettivo di prevenzione e controllo dell'inquinamento, così articolati:

- i componenti e i materiali utilizzati nella costruzione sono conformi ai Regolamenti ed alle Direttive preesistenti relativi a contaminanti e sostanze il cui utilizzo è vietato o soggetto a restrizioni nel territorio dell'Unione;
- i componenti e i materiali utilizzati nella costruzione che possono venire a contatto con gli occupanti devono emettere meno di 0,06 mg di formaldeide per m<sup>3</sup> di materiale o componente<sup>19</sup>, in seguito a test effettuati in conformità alle condizioni specificate nell'allegato XVII del regolamento (CE) n. 1907/2006, e meno di 0,001 mg di altri composti organici volatili cancerogeni di categoria 1A e 1B per m<sup>3</sup> di materiale o componente, in seguito a test effettuati in conformità alle norme CEN/EN 16516(299) o ISO 16000-3:2011 o ad altre condizioni di prova e metodi di determinazione standardizzati equivalenti;
- nel caso in cui la nuova costruzione sia ubicata in un sito potenzialmente contaminato (area industriale dismessa), il sito deve essere stato sottoposto a un'indagine per la ricerca di potenziali contaminanti, ad esempio utilizzando lo standard ISO 18400(302);
- devono essere adottate misure per ridurre il rumore, la polvere e le emissioni inquinanti durante i lavori di costruzione o manutenzione.

### 1.1.2 L'Atto Delegato Ambiente

L'Atto Delegato Ambiente contiene i criteri di vaglio tecnico per determinare le condizioni alle quali un'attività economica può contribuire in modo sostanziale ad uno dei 4 obiettivi ambientali in esso contemplati senza arrecare un danno significativo a nessuno degli altri 3.

L'Allegato III, recante i criteri relativi all'obiettivo Prevenzione e Controllo dell'Inquinamento, contiene tuttavia al momento solo 6 attività (acque, fognature, manifattura farmaceutica, etc.) contro le 94<sup>20</sup> e 101<sup>21</sup> dell'AD sul clima.

Per quanto concerne tale obiettivo viene precisato che: *«the technical screening criteria reflect the need to eliminate pollution in air, water, soil, living organisms and food resources. Pollution can cause illnesses and in consequence may lead to premature deaths. It also threatens biodiversity and contributes to the mass extinction of species. As outlined in the Communication from the Commission of 12 May 2021, Pathway to a Healthy Planet for All EU Action Plan: 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil, the economic benefits of fighting pollution are substantial and the benefits for society far outweigh the required costs».*

---

<sup>19</sup> Tale valore è da intendersi come concentrazione di sostanza nel materiale/manufatto. Il tasso di emissione dipende poi anche da fattori ambientali e fisici come temperatura e umidità, nonché dai ricambi orari del volume di aria.

<sup>20</sup> Obiettivo di *climate mitigation*.

<sup>21</sup> Obiettivo di *climate adaptation*.

Nell'Allegato II relativo all'Economia Circolare contenente le condizioni che le attività economiche considerate devono soddisfare, sia nella fase di *design*/produzione (utilizzo di materiali riciclati, longevità, durevolezza e minimizzazione quantità di rifiuti *end-of-life*) che in quella di utilizzo (manutenzione adeguata e minimizzazione rifiuti), al fine di contribuire in modo sostanziale all'obiettivo, tra i criteri di DNSH relativi all'obiettivo di Prevenzione e Controllo dell'Inquinamento è nuovamente prevista la necessità di conformità a Direttive di settore pre-esistenti e ad emissioni in linea con quelle connesse alle BAT, come visto a proposito dell'Atto Delegato Clima.

Per quanto concerne i criteri di contributo sostanziale, e sempre con riferimento alle attività di Costruzione di nuovi edifici (3.1) e Ristrutturazione di edifici esistenti (3.2), così come per l'attività di Fabbricazione di apparecchiature elettriche ed elettroniche (1.2), vengono richiesti rispettivamente:

- la conformità con gli indicatori del quadro Level(s) per le attività di Costruzione e Ristrutturazione;
- il rispetto di specifici limiti alla concentrazione di contaminanti nei componenti utilizzati.

In conclusione, pur essendo le disposizioni che riguardano l'inquinamento *indoor* limitate e circoscritte ad alcune sostanze chimiche, la prevenzione ed il controllo dell'inquinamento costituiscono uno dei sei pilastri fondamentali della Tassonomia Europea.

## 1.2 La revisione della Direttiva sulla Qualità dell'Aria Ambiente (AAQ)

Nell'ottobre 2022 la Commissione ha presentato una proposta di aggiornamento e fusione delle Direttive vigenti sulla qualità dell'aria ambiente<sup>22</sup> (2004/107/CE e 2008/50/CE). L'obiettivo principale della revisione consiste nel:

- fissare per il 2030 valori limite e valori obiettivo vincolanti più severi per tutti gli inquinanti;
- definire disposizioni in materia di qualità dell'aria per aiutare l'UE a realizzare il suo obiettivo di azzerare l'inquinamento entro il 2050 nel quadro del *Green Deal* europeo<sup>23</sup>.

Questo ultimo obiettivo è da intendersi raggiunto quando la qualità dell'aria sarà tale che l'inquinamento non sia più nocivo per la salute e per l'ambiente e quando si registrerà una riduzione delle morti premature da particolato fine (PM<sub>2.5</sub>) del 55% rispetto ai livelli del 2005 entro il 2030.

Dopo l'approvazione del testo da parte del Parlamento europeo e la formale adozione del Consiglio il 14 ottobre 2024, la nuova Direttiva quadro è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 20 novembre scorso. Si tratta della Direttiva UE/2024/2881<sup>24</sup>.

<sup>22</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0107>; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050>

<sup>23</sup> <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/#:~:text=La%20visione%20del%20Green%20Deal,nella%20natura%20e%20negli%20ecosistemi>.

<sup>24</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202402881](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881)

Le nuove norme aggiornano gli attuali *standard* di qualità dell'aria, rendendoli più rigorosi al fine di allinearli maggiormente alle raccomandazioni dell'OMS del 2021.

In particolare, per il particolato fine (PM<sub>2,5</sub>), responsabile del maggior numero di morti precoci in Europa, il valore limite annuale viene ridotto da 25 µg/m<sup>3</sup> a 10 µg/m<sup>3</sup> (il valore indicato negli orientamenti dell'OMS è 5 µg/m<sup>3</sup>).

Inquinante	Rif. temporale	2008/50/CE	Nuova Direttiva - ND (entro 2030)	OMS	(OMS-ND)/ND
<b>PM<sub>10</sub></b>	Media annua	40	20	15	-25%
	Media giornaliera	50	45	45	0%
	n. max superamenti media giornaliera per anno	35	18	3	-83%
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	Media annua	25	10	5	-50%
	Media giornaliera	-	25	15	-40%
	n. max superamenti media giornaliera per anno	-	18	3	-83%
<b>NO<sub>2</sub></b>	Media annua	40	20	10	-50%
	Media giornaliera	-	50	25	-50%
	n. max superamenti media giornaliera per anno	-	18	3	-83%
<b>SO<sub>2</sub></b>	Media annua	-	20	-	
	Media giornaliera	125	50	40	
	n. max superamenti media giornaliera per anno	3	18	-	

Tabella 2. Confronto tra vecchia e nuova Direttiva sulla qualità dell'aria ambiente e Linee guida OMS (µg/m<sup>3</sup>).

Secondo l'Agencia Europea per l'Ambiente<sup>25</sup>, sebbene nel 2022 solo il 2% delle stazioni di monitoraggio europee abbia registrato concentrazioni annuali di particolato fine superiori al limite previsto dalla Direttiva del 2008, la percentuale sale drasticamente al 92% ove si prendano in considerazione i limiti fissati dall'OMS.

Ciò significa che, pur continuando ad osservare un *trend* decrescente nelle emissioni, la maggior parte della popolazione europea continua ad essere esposta a livelli di inquinanti che sono nocivi per la salute.

E' il caso dell'Italia, così come di quasi tutti i paesi europei, in cui le concentrazioni di polveri sottili sono arrivate anche a superare di oltre 5 volte il valore indicato nelle nuove Linee Guida dell'OMS, così come evidenziato in Figura 1.

I nuovi *standard* riguardano, oltre ai limiti di concentrazione, gli obblighi di riduzione dell'esposizione media della popolazione al PM<sub>2,5</sub> e al biossido di azoto la quale, entro il 2030, dovrà essere pari al 25% del valore dell'indicatore di esposizione medio del 2020.

<sup>25</sup> <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>

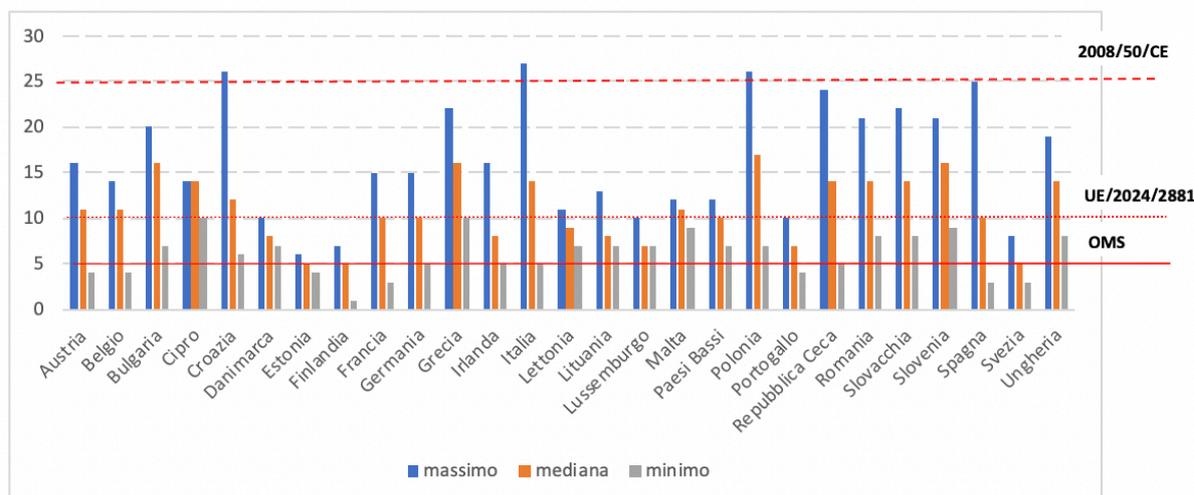


Figura 1. Concentrazioni di PM<sub>2,5</sub> nei paesi dell'UE 27 nel 2022 e comparazione con i valori limite della vecchia e nuova Direttiva sulla qualità dell'aria e quello di cui alle Linee Guida OMS del 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Vengono introdotte anche soglie di allarme, precedentemente previste solo per biossido di azoto e biossido di zolfo, per l'esposizione a breve termine a livelli particolarmente alti di particolato.

Le nuove norme sono attese ridurre il numero di morti precoci dovute all'inquinamento atmosferico e l'incidenza delle malattie correlate<sup>26</sup>.

La Direttiva obbliga la Commissione a riesaminare periodicamente le evidenze scientifiche per verificare se i nuovi *standard* di qualità dell'aria si stiano dimostrando efficaci nel proteggere la salute umana.

La revisione delle Direttive si traduce anche in un rafforzamento dell'accesso alla giustizia e al diritto all'aria pulita. La nuova legislazione impone infatti, per la prima volta, agli Stati membri di garantire che le persone possano chiedere e ottenere un risarcimento qualora abbiano subito danni alla salute a seguito di una violazione di carattere doloso o colposo delle norme nazionali che recepiscono la Direttiva.

Gli Stati membri hanno due anni di tempo, a partire dalla pubblicazione in Gazzetta Ufficiale, per recepire le nuove norme nel diritto nazionale.

Nonostante la nuova Direttiva<sup>27</sup> riduca tutte le concentrazioni massime ammissibili introducendo medie massime giornaliere e numero massimo di superamenti annui per PM<sub>2,5</sub> e biossido di azoto, i nuovi limiti restano tuttavia al momento al di sopra delle soglie consigliate dall'OMS.

La revisione al ribasso è tuttavia certamente emblematica della crescente attenzione dedicata al problema dell'inquinamento dell'aria, inclusa quella interna.

Cruciale sarà nel summenzionato contesto il contenuto della normativa nazionale di recepimento.

<sup>26</sup> I decessi prematuri connessi all'inquinamento da PM<sub>2,5</sub> dovrebbero diminuire del 75% in 10 anni.

<sup>27</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202402881](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881)

### 1.3 La Direttiva sulla *Performance Energetica* degli Edifici<sup>28</sup>

Nell'aprile del 2024 è stata formalmente adottata la nuova direttiva sulla *performance* energetica degli edifici, parte integrante del Pacchetto *Fit-for-55*<sup>29</sup> e volta a ridurre progressivamente le emissioni di CO<sub>2</sub> del parco immobiliare europeo attraverso l'aumento dell'efficienza energetica degli edifici, responsabili del 36% delle emissioni totali.

E' stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea il successivo 8 maggio ed è entrata in vigore il giorno 28 dello stesso mese.

Il recepimento a livello nazionale è previsto entro due anni dall'entrata in vigore.

L'85% degli edifici dell'UE è stato costruito prima del 2000 e tra questi il 75% ha una scarsa prestazione energetica.

Intervenire sull'efficienza energetica degli edifici è fondamentale per risparmiare energia, ridurre le bollette per i cittadini e le piccole imprese, e raggiungere un parco edifici a emissioni zero e completamente de-carbonizzato entro il 2050.

La revisione della Direttiva sul rendimento energetico degli edifici<sup>30</sup> contribuirà ad aumentare il tasso di ristrutturazione in particolare per gli edifici con le peggiori prestazioni.

Il provvedimento ha l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra nel settore edilizio di almeno il 60% entro il 2030 rispetto al 2015 e di raggiungere un parco edifici de-carbonizzato e a zero emissioni entro il 2050. Essa opera in sinergia con altre politiche europee del Green Deal<sup>31</sup>, come il sistema di scambio di quote di emissione (ETS<sup>32</sup>) per i combustibili utilizzati negli edifici.

L'*Emission Trading Scheme* è riferimento essenziale della politica dell'Unione in materia di clima e ne costituisce lo strumento fondamentale per ridurre le emissioni di gas a effetto serra in modo efficace sotto il profilo dei costi. Tale sistema è stato recentemente modificato tramite l'adozione di molteplici misure che, ampliando anche il campo di applicazione della direttiva 2003/87/CE, ne rafforzano il meccanismo.

L' ETS è stato in particolare esteso a nuovi settori: esso si applica alle emissioni prodotte dal trasporto marittimo a partire dal 2024, mentre è prevista, dal 2025, l'estensione del campo di applicazione alle emissioni di gas ad effetto serra degli edifici<sup>33</sup>.

La Direttiva pone di fatto in essere un inevitabile *trade-off* tra risparmio energetico e qualità dell'aria interna. Se infatti, al fine di ridurre i consumi, gli edifici dovranno essere sempre più orientati all'isolamento termico, quest'ultimo, ove non associato ad una adeguata ventilazione, potrebbe determinare l'aumento delle concentrazioni interne di inquinanti biologici, chimici e fisici, enfatizzando la Sindrome da Edificio Malato<sup>34</sup>.

---

<sup>28</sup> Energy Performance Building Directive – EPBD: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)

<sup>29</sup> [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en)

<sup>30</sup> UE/2024/1275

<sup>31</sup> [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_it](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it)

<sup>32</sup> Emission Trading Scheme, Direttiva 2003/87/CE.

<sup>33</sup> E' inizialmente previsto un obbligo di monitoraggio e *reporting* mentre il meccanismo dovrebbe divenire operativo a tutti gli effetti dal 2027: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors\\_en#ets2-a-smooth-start](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors_en#ets2-a-smooth-start)

<sup>34</sup> Sick Building Syndrome: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/sick\\_building\\_factsheet.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/sick_building_factsheet.pdf)

Affinché la gestione energetica renda più sostenibili gli edifici la loro costruzione dovrà dunque tenere conto sia della dimensione ambientale che di quella umana, che include la questione del *comfort* e del benessere degli occupanti.

Anche a questo fine la Direttiva EPBD<sup>35</sup> è volta a promuovere la digitalizzazione dei sistemi energetici per gli edifici, la realizzazione di infrastrutture per la mobilità sostenibile e una migliore qualità dell'aria, anche in ambienti *indoor*.

Il riferimento a quest'ultima rappresenta un'importante novità.

Nelle tre precedenti direttive, la 2002/91/CE (EPBD), la 2010/31/UE (EPBD II) e la 2018/844/UE (EPBD III), recepite in Italia attraverso altrettanti provvedimenti (D.Lgs. 192/05, L. 90/13, D.Lgs. 48/20), e nei relativi decreti attuativi (D.M. 26.06.15) furono definiti tutti gli aspetti fondamentali in tema di efficientamento energetico degli edifici senza porre enfasi sul *comfort* e sulla qualità dell'aria interni.

Nel nuovo processo di revisione della Direttiva EPBD (EPBD IV "Case Green"), avviato, su proposta della Commissione Industria, Ricerca ed Energia (ITRE) del Parlamento Europeo, già nel 2021, l'attenzione posta sulla qualità dell'aria interna è stata da subito più che evidente.

Nel marzo 2023, in particolare, il Parlamento Europeo approvò la bozza di Direttiva con numerosi emendamenti sul tema licenziando un testo decisamente orientato alla regolazione della IAQ e contenente un apposito articolo ad essa dedicato. Tra giugno e dicembre 2023 sono stati necessari ben quattro "triloghi" che hanno coinvolto il Parlamento e il Consiglio e che si sono conclusi con lo stralcio del summenzionato articolo e l'approvazione della versione attuale la quale continua comunque ad annoverare esplicitamente tra i suoi obiettivi quello di valutare e migliorare le prestazioni relative alla qualità degli ambienti interni degli edifici<sup>36</sup>.

Pur esulando l'esame dettagliato della Direttiva dagli obiettivi del presente *Report* di ricerca è bene ricordare che, in forza della stessa, gli Stati membri devono predisporre un piano nazionale di ristrutturazione dei loro edifici (residenziali e non, pubblici e privati) al fine di giungere ad un parco immobiliare de-carbonizzato entro il 2050. Il Piano deve contenere una tabella di marcia recante degli obiettivi intermedi per il 2030 e il 2040, degli indicatori di progresso misurabili, e l'indicazione delle politiche e delle misure attuate e previste.

Tale piano deve essere redatto secondo un *format* specifico, contenuto nella Direttiva stessa, e trasmesso alla Commissione europea entro il 31 dicembre 2026.

Tutti gli edifici devono divenire a zero emissioni<sup>37</sup> secondo le seguenti scadenze:

- il primo gennaio 2030 (che diventa primo gennaio 2028 se pubblici) per gli edifici di nuova costruzione;
- il 2050 per gli edifici esistenti.

Entro tali scadenze, oltre ad un adeguamento delle prestazioni energetiche, la Direttiva richiede un monitoraggio ed un miglioramento della qualità degli ambienti interni con specifico riferimento, tra gli altri parametri, alla qualità dell'aria.

Dalla lettura complessiva del provvedimento, emerge che efficientamento energetico e qualità dell'aria interna, come già osservato, sono temi intimamente legati nella misura in cui:

---

<sup>35</sup> *Energy Performance Building Directive*.

<sup>36</sup> Articolo 1, comma 2, lettera n).

<sup>37</sup> *Zero Emission Building (ZEmB)*.

- gli inquinanti dell'aria ambiente, e quindi, dell'aria *indoor*, sono in larga parte prodotti dalla combustione dell'energia negli impianti di riscaldamento degli edifici (oltre che nei motori dei veicoli circolanti e negli impianti industriali);
- per garantire un'adeguata qualità dell'aria interna in edifici caratterizzati da un crescente livello di isolamento sono necessari degli impianti aerulici che comportano essi stessi dei consumi energetici i quali possono essere minimizzati attraverso una sistematica ed adeguata manutenzione;
- respirare aria salubre reca però benefici, anche di tipo economico, in quanto:
  - consente di evitare enormi costi sociali derivanti dall'insorgenza di malattie;
  - per un'attività commerciale dimostrare che l'aria che si respira all'interno dei suoi ambienti è salubre costituisce un indubbio vantaggio competitivo destinato ad essere sempre più enfatizzato dall'evoluzione del contesto normativo e dal crescente orientamento ESG del mercato.

Diviene perciò fondamentale, nell'ambito del processo di efficientamento energetico degli edifici, scegliere le migliori tecnologie di ventilazione e filtrazione al fine di superare il naturale "antagonismo" che sussiste tra qualità dell'aria interna e risparmio di energia.

### 1.3.1 La Direttiva EPBD e la qualità degli ambienti interni

La Direttiva contiene numerosi riferimenti alla qualità degli ambienti interni sin dai Considerata, negli articoli di cui si compone, e nei suoi allegati.

In Tabella 3 sono riportati tutti i passaggi in cui viene contemplata la "qualità degli ambienti interni".

In particolare, già i primi due articoli chiariscono come le disposizioni contenute nella Direttiva riguardino il miglioramento della prestazione energetica degli edifici e la riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra provenienti dagli stessi all'interno dell'Unione tenendo conto delle prescrizioni relative alla qualità degli ambienti interni Art. 1), e come quest'ultima sia da intendersi quale somma di tutte le condizioni che all'interno di un edificio influiscono sulla salute e sul benessere dei suoi occupanti, tra cui la temperatura, l'umidità, il tasso di ventilazione e la presenza di contaminanti (Art. 2).

La qualità ottimale degli ambienti interni costituisce un'istanza trasversale in tutto il provvedimento in cui emerge chiaramente come le prestazioni energetiche degli edifici "intelligenti" debbano essere funzionali al processo di de-carbonizzazione ma anche alla salute ed al benessere degli occupanti i quali sono da considerarsi prioritari dal momento che solo in un ambiente chiuso sicuro è possibile essere produttivi e sani, a tutto beneficio della spesa sanitaria pubblica e della produttività.

Essa costituisce in particolare parte integrante del Piano di Ristrutturazione (Art. 3) e riguarda sia gli edifici di nuova costruzione (Art. 7) che quelli esistenti (Art. 8) per i quali gli Stati Membri sono chiamati a definire e attuare norme adeguate anche in relazione alle attività di monitoraggio che saranno possibili grazie ad opportuni sistemi di automazione e controllo a partire da maggio 2026 (Art. 13).

<b>DISPOSIZIONE</b>	<b>CONTENUTO</b>
Considerando 45	Una ristrutturazione profonda a fini di prestazione energetica può anche rappresentare un’opportunità da cogliere per riuscire a far fronte ad altri aspetti: la qualità degli ambienti interni, le condizioni di vita delle famiglie vulnerabili, l’aumento della resilienza ai cambiamenti climatici, la resilienza ai rischi di catastrofi, resilienza sismica compresa, la sicurezza antincendio, l’eliminazione delle sostanze pericolose tra cui l’amianto, l’accessibilità per le persone con disabilità.
Considerando 47	Gli Stati membri dovrebbero sostenere i miglioramenti della prestazione energetica degli edifici esistenti che contribuiscono a garantire un livello adeguato di qualità degli ambienti interni, eliminando l’amianto e altre sostanze nocive, prevenendo la rimozione illegale delle sostanze nocive e favorendo il rispetto di atti legislativi vigenti, tra cui le direttive 2009/148/CE <sup>38</sup> e (UE) 2016/2284 <sup>39</sup> del Parlamento europeo e del Consiglio.
Considerando 67	Al fine di garantire che i potenziali acquirenti o locatari possano tener conto della prestazione energetica sin dall’inizio, gli edifici o le unità immobiliari messi in vendita o in locazione dovrebbero disporre di un attestato di prestazione energetica e la classe e l’indicatore di prestazione energetica dovrebbero figurare in tutti gli annunci pubblicitari. L’attestato di prestazione energetica dovrebbe recare anche informazioni sul consumo di energia primaria e finale, sul fabbisogno energetico, sulla produzione di energia rinnovabile, sulle emissioni di gas a effetto serra, sul <i>Global Warming Potential</i> (GWP) nel corso del ciclo di vita, se disponibile, e, in via facoltativa, sui sensori o controlli della qualità degli ambienti interni dell’edificio.
Articolo 1 – Oggetto, comma 1	La presente direttiva promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici e la riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra provenienti dagli edifici all’interno dell’Unione per conseguire un parco immobiliare a emissioni zero entro il 2050, tenendo conto delle condizioni locali, delle condizioni climatiche esterne, delle prescrizioni relative alla qualità degli ambienti interni e dell’efficacia sotto il profilo dei costi.
Articolo 2 – Definizioni, 66)	“qualità degli ambienti interni”: il risultato di una valutazione delle condizioni all’interno di un edificio che influiscono sulla salute e sul benessere dei suoi occupanti, basata su parametri quali quelli relativi a temperatura, umidità, tasso di ventilazione e presenza di contaminanti.
Articolo 3 – Piano nazionale di ristrutturazione degli edifici, comma 2, lettera h)	Ogni piano nazionale di ristrutturazione comprende: h) una stima affidabile del risparmio energetico atteso e dei benefici in senso lato, compresi quelli connessi alla qualità degli ambienti interni. La tabella di marcia recante obiettivi stabiliti a livello nazionale e indicatori di progresso misurabili, comprende una stima affidabile del risparmio energetico atteso e dei benefici in senso lato, compresi quelli connessi alla qualità degli ambienti interni.
Articolo 5 – Fissazione di requisiti minimi di prestazione energetica, comma 1	Tali requisiti, che gli Stati membri possono distinguere tra gli edifici già esistenti e quelli di nuova costruzione, nonché tra diverse tipologie edilizie, tengono conto della qualità ottimale degli ambienti interni allo scopo di evitare eventuali effetti negativi, quali una ventilazione inadeguata, nonché delle condizioni locali, dell’uso cui l’edificio è destinato e della sua età.
Articolo 7 – Edifici di nuova costruzione, comma 6	Per i nuovi edifici gli Stati membri tengono conto delle questioni della qualità ottimale degli ambienti interni, l’adattamento ai cambiamenti climatici, la sicurezza antincendio, i rischi connessi all’intensa attività sismica, l’accessibilità per le persone con disabilità.
Articolo 8 – Edifici esistenti, comma 3	Gli Stati membri prendono in considerazione, per quanto concerne gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti, le questioni della qualità degli ambienti interni, l’adattamento ai cambiamenti climatici, la sicurezza antincendio, i rischi connessi all’intensa attività sismica, l’eliminazione delle sostanze pericolose tra cui l’amianto, l’accessibilità per le persone con disabilità.

<sup>38</sup> Direttiva 2009/148/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 novembre 2009, sulla protezione dei lavoratori contro i rischi connessi con un’esposizione all’amianto durante il lavoro.

<sup>39</sup> Direttiva (UE) 2016/2284 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 dicembre 2016, concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici.

Articolo 13 – Sistemi tecnici per l’edilizia, comma 4	Gli Stati membri stabiliscono requisiti per l’attuazione di norme adeguate per la qualità degli ambienti interni negli edifici al fine di mantenere il benessere termo-igrometrico degli ambienti interni.
Articolo 13 – Sistemi tecnici per l’edilizia, comma 10	I sistemi di automazione e controllo degli edifici sono in grado di: d) entro il 29 maggio 2026 monitorare la qualità degli ambienti interni.
Articolo 15 – Predisposizione degli edifici all’intelligenza, comma 1	La Commissione adotta atti delegati per integrare la presente direttiva in relazione a un sistema comune facoltativo a livello di Unione per valutare la predisposizione degli edifici all’intelligenza. Tale valutazione si basa su un esame della capacità di un edificio o di un’unità immobiliare di adattare il proprio funzionamento alle esigenze dell’occupante, in particolare per quanto concerne la qualità degli ambienti interni, e della rete nonché di migliorare l’efficienza energetica e la prestazione complessiva.
Articolo 19 – Attestato di Prestazione Energetica, comma 5	L’attestato di prestazione energetica comprende raccomandazioni per il miglioramento efficace in funzione dei costi della prestazione energetica e la riduzione delle emissioni operative di gas a effetto serra e il miglioramento della qualità degli ambienti interni dell’edificio o dell’unità immobiliare, a meno che l’edificio o l’unità immobiliare raggiunga già almeno la classe di prestazione energetica A.
Articolo 29 – Informazione, comma 3	Gli Stati membri garantiscono consulenza e formazione per i responsabili dell’attuazione della presente direttiva. Tali formazioni possono anche riguardare l’eliminazione delle sostanze pericolose tra cui l’amianto, le emissioni di inquinanti atmosferici (comprese le polveri sottili), la qualità degli ambienti interni e l’accessibilità per le persone con disabilità.
ALLEGATO II Modello per i piani nazionali di ristrutturazione degli edifici, <i>Rassegna delle politiche e misure attuate e previste</i>	Politiche e misure riguardanti gli elementi seguenti: i) miglioramento della qualità degli ambienti interni.
ALLEGATO V Modello dell’attestato di prestazione energetica, comma 2	L’attestato di prestazione energetica può includere gli indicatori seguenti: i) presenza di sensori fissi che monitorano la qualità degli ambienti interni; j) presenza di comandi fissi che reagiscono ai livelli di qualità degli ambienti interni.
ALLEGATO VIII Requisiti dei passaporti di ristrutturazione, comma 1	Il passaporto di ristrutturazione comprende: h) informazioni generali sulle opzioni disponibili per migliorare la circolarità dei prodotti da costruzione e ridurre le loro emissioni di gas a effetto serra nel corso del ciclo di vita, nonché i benefici più ampi in termini di salute e comfort, la qualità degli ambienti interni e il miglioramento della capacità di adattamento dell’edificio ai cambiamenti climatici.

*Tabella 3. Riferimenti alla qualità degli ambienti interni nella Direttiva EPBD.*

### *1.3.1.1 La qualità dell’aria interna*

La nuova Direttiva contiene specifici riferimenti alla IAQ segnando un netto punto di svolta nella sua regolazione.

In Tabella 4 Sono evidenziati i passaggi che menzionano la “qualità dell’aria interna”.

ARTICOLO	CONTENUTO
Articolo 13 – Sistemi tecnici per l’edilizia, comma 5	Gli Stati membri impongono che gli edifici non residenziali a emissioni zero siano dotati di dispositivi di misurazione e controllo per il monitoraggio e la regolazione della <b>qualità dell’aria interna</b> . Negli edifici esistenti l’installazione di tali dispositivi è obbligatoria quando l’edificio non residenziale è sottoposto a una ristrutturazione importante, laddove tecnicamente ed economicamente fattibile. Gli Stati membri possono imporre l’installazione di tali dispositivi negli edifici residenziali.
Articolo 23 – Ispezioni, commi 1 e 2	Gli Stati membri adottano le misure necessarie per stabilire ispezioni periodiche delle parti accessibili degli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento d’aria. Essi possono istituire regimi distinti per le ispezioni dei sistemi residenziali e non residenziali.
ALLEGATO I Quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, comma 2	Il fabbisogno e il consumo di energia per il riscaldamento o il raffrescamento di ambienti, la produzione di acqua calda per uso domestico, la ventilazione, l’illuminazione integrata e altri sistemi tecnici per l’edilizia sono calcolati facendo uso di intervalli di calcolo del tempo mensili, orari o sub-orari in modo da tenere conto delle condizioni variabili che incidono sensibilmente sul funzionamento e sulle prestazioni dell’impianto, come pure sulle condizioni interne, e da ottimizzare il livello di benessere, la <b>qualità dell’aria interna</b> , compreso il <i>comfort</i> , come definiti dagli Stati membri a livello nazionale o regionale.
ALLEGATO IV Quadro generale per la valutazione della predisposizione degli edifici all’intelligenza, commi 1 e 3	La Commissione stabilisce la definizione dell’indicatore di predisposizione degli edifici all’intelligenza e una metodologia con cui tale indicatore deve essere calcolato per valutare le capacità di un edificio o di un’unità immobiliare di adattare il proprio funzionamento alle esigenze dell’occupante e della rete e migliorare la sua efficienza energetica e le prestazioni generali. La metodologia di definizione può altresì considerare l’interoperabilità dei sistemi (contatori intelligenti, sistemi di automazione e controllo dell’edificio, elettrodomestici integrati, dispositivi autoregolanti per il controllo della temperatura dell’aria all’interno dell’edificio, sensori di <b>qualità dell’aria interna</b> e ventilazione).

Tabella 4. Riferimenti alla qualità dell’aria interna nella Direttiva EPBD.

L’Articolo 13, “Sistemi tecnici per l’edilizia”, ai commi 4 e 5, stabilisce che gli Stati membri predispongano norme adeguate per la disciplina della qualità degli ambienti interni negli edifici al fine di mantenere il benessere termo-igrometrico e richiede di:

- dotare gli edifici non residenziali a emissioni zero di dispositivi di misurazione e controllo per il monitoraggio e la regolazione della qualità dell’aria interna;
- fare lo stesso anche per gli edifici esistenti in caso di ristrutturazione importante, laddove tecnicamente ed economicamente fattibile.

Viene invece lasciata facoltà ai singoli Stati membri di imporre l’installazione di tali dispositivi negli edifici residenziali.

Nell’Allegato I è contenuto un ulteriore riferimento alla IAQ nella misura in cui viene stabilito che il consumo di energia sia calcolato con riferimento ad intervalli di tempo mensili, orari o sub-orari in modo da ottimizzare il livello di benessere e la qualità dell’aria interna.

L’Allegato IV evidenzia la necessità di monitorare la qualità dell’aria *indoor*, a mezzo di opportuni sensori e, con essa, il ruolo fondamentale della ventilazione meccanica a proposito della quale la Direttiva introduce obblighi di ispezione periodica dei relativi sistemi al fine di ottimizzare le prestazioni degli edifici e migliorare il *comfort* interno e la qualità dell’aria che respiriamo in ambienti chiusi (Art, 23, comma 1). La Direttiva stabilisce altresì come gli Stati Membri debbano allegare al Piano Nazionale di ristrutturazione degli edifici un’analisi sintetica dei sistemi di ispezione e dei relativi risultati.

L'integrazione del tema qualità dell'aria interna nella nuova normativa comunitaria sull'efficienza energetica degli edifici dell'Unione, getta, in maniera inequivocabile, le fondamenta per la futura regolazione del tema oggetto di studio.

#### 1.4 La Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)

La nuova Direttiva sul *reporting* di sostenibilità delle imprese<sup>40</sup> è entrata in vigore il 5 gennaio 2023.

L'approccio applicativo previsto è graduale.

Gli obblighi di *reporting* assolti secondo le nuove regole diventeranno vincolanti tra il 2024 e il 2028 a seconda della dimensione delle imprese e della loro quotazione su mercati regolamentati come illustrato in Tabella 5.

La CSRD sostituisce la *Non-financial Reporting Directive* (NFRD<sup>41</sup>) il cui ambito di applicazione era più circoscritto e la cui revisione si è resa necessaria a seguito della pubblicazione, nel 2018, dello *EU Action Plan* per la finanzia sostenibile<sup>42</sup> e dell'adozione, nel 2019, del *Green Deal* e della *Sustainable Financial Disclosure Regulation* (SFDR<sup>43</sup>).

Secondo la Direttiva le imprese dovranno effettuare l'attività di *reporting* sulla base del principio della cosiddetta "doppia materialità", ovvero basandosi sui fattori che sono materiali dal punto di vista degli impatti che la singola impresa ha su società e ambiente (prospettiva *inside-out*) e di quelli causati dall'ambiente esterno all'impresa dal punto di vista finanziario (prospettiva *outside-in*).

Una delle grandi novità della CSRD risiede nel fatto che l'attività di *disclosure* non potrà più essere fatta in maniera discrezionale bensì sulla base di una serie di standard fissati dalla Commissione stessa, noti come *European Sustainability Reporting Standards*<sup>44</sup> (ESRS).

	CATEGORIE	APPLICAZIONE
1	Grandi società (EIP) > 500 dipendenti (già soggette a NFRD)	2024
2	Grandi società (ricavi netti > 40 M€, attivo > 20 M€, dipendenti > 250) quotate e non	2025
3	PMI quotate (salvo <i>opt-out</i> fino al 2028)	2026
4	Società extra-UE con fatturato UE di almeno 150 M€ e almeno una controllata nell'UE	2028

Tabella 5. Applicazione della CSRD

<sup>40</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>

<sup>41</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0095>

<sup>42</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/IP\\_18\\_1404](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/IP_18_1404)

<sup>43</sup> [https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/sustainable-finance-disclosures-regulation\\_en](https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/sustainable-finance-disclosures-regulation_en)

<sup>44</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202302772](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302772)

Stando alla direttiva un fattore ESG (*Environmental, Social, Governance*) viene considerato materiale dal punto di vista dell'impatto che può avere, in senso negativo o positivo, sulle persone o sull'ambiente. L'impatto deve essere inteso come quello causato dall'impresa o a cui essa ha contribuito (impatti direttamente collegati alle *operations*).

La Direttiva prevede che la «gravità di impatto» venga valutata sulla base della:

- dimensione;
- portata;
- irreversibilità'.

secondo lo schema illustrato in Figura 2.

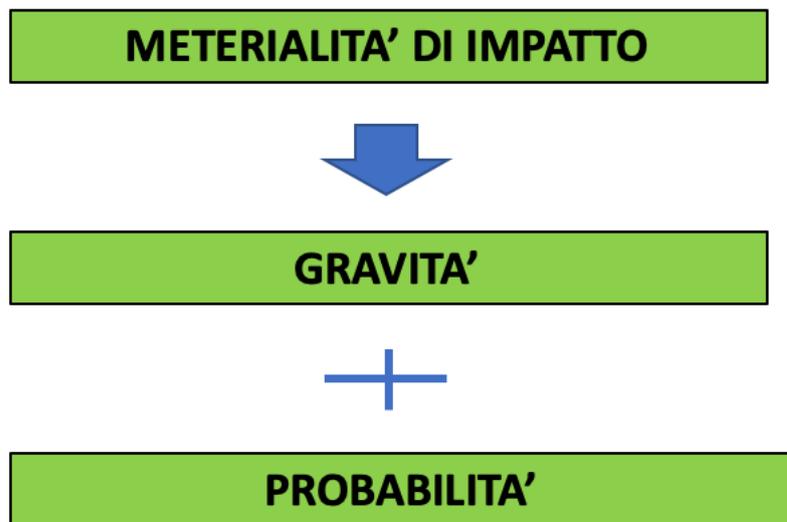


Figura 2. Valutazione della materialità di impatto.

Qualora si ravvisi un potenziale impatto sui diritti umani, la gravità ha la precedenza sulla probabilità. Giova a tale proposito ricordare che il diritto alla salute è sancito dall'Art. 32 della Costituzione secondo cui la Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività.

La Commissione, con atto delegato del 31 luglio 2023, ha adottato il primo set di principi di rendicontazione ESRS definiti come "agnostici" nel senso che si applicano a tutte le imprese indistintamente.

Esso comprende due *standard* "trasversali" e 10 *standard* "tematici", così come evidenziato in Tabella 6.

TRASVERSALI	ESRS 1 REQUISITI GENERALI		ESRS 2 INFORMATIVA GENERALE		
TEMATICI 1 Ambiente	ESRS E1 Cambiamento climatico	ESRS E2 Inquinamento	ESRS E3 Acqua e risorse marine	ESRS E4 Biodiversità	ESRS E5 Economia circolare
		disclosure su prevenzione, controllo e riduzione inquinamento di acqua, suolo e aria («into air, both indoor and outdoor»); le emissioni inquinanti possono avere effetti negativi su persone e comunità in termini di «health-related issues»			
TEMATICI 2 Sociale	ESRS S1 Propria forza lavoro	ESRS S2 Lavoratori della catena del valore	ESRS S3 Comunità interessate	ESRS S4 Consumatori	
	impatti materiali sui dipendenti con specifico riferimento alla salute e sicurezza sul luogo di lavoro (gestione della salute, incidenti, nr giorni lavoro persi) e iniziative relative alla tutela della salute durante eventi pandemici		impatti materiali sulla comunità derivanti dai prodotti/servizi erogati con specifico riferimenti a quelli igienico-sanitari		
TEMATICI 3 Governance	ESRS G1 Condotta aziendale				

Tabella 6. Gli standard europei di sostenibilità agnostici

Oltre agli *standard* generali e tematici saranno in futuro definiti:

- gli *standard* specifici di settore (*sector specific*);
- gli *standard* specifici di impresa (*entity specific*) in caso di scarsa capacità esplicativa degli impegni non finanziari dell'impresa da parte degli altri *standard* in relazione alla specifica attività.

Per ogni *standard* tematico sono previsti:

- le possibili interazioni con altri *standard* e le indicazioni su come gestire la relativa *disclosure*;
- gli obblighi di *reporting* di carattere generale di cui allo ESRS 2;
- gli obblighi dettagliati di *disclosure* in relazione agli impatti (*Impact*) e ai rischi/opportunità (*Risk and Opportunity*);
- le metriche di *disclosure* (Key Performance Indicators – KPI) qualitative e quantitative.

Tra gli *standard* tematici ambientali quello dedicato all'inquinamento è lo *standard* ESRS E2: su di esso deve basarsi la *disclosure* inerente le azioni messe in campo dalle aziende per la prevenzione, controllo e riduzione dell'inquinamento di acqua, suolo e aria. A proposito di quest'ultima il Regolamento specifica come lo *standard* sia da intendersi riferito anche all'aria *indoor* (“into air, both indoor and outdoor”) e come le emissioni inquinanti possano avere effetti negativi su persone e comunità in termini di salute (“health-related issues”).

Ciò significa che, con l'entrata in vigore della nuova Direttiva, è fatto obbligo alle imprese appartenenti all'Unione Europea, di rendere pubblico l'impatto che la loro attività ha in termini di inquinamento atmosferico e le possibili ricadute di tale fenomeno, ove materiale, sulle loro *performance* finanziarie.

#### 1.4.1 Gli *standard* sociali

L'obiettivo degli *standard* sociali ESRS S1 e ESRS S2, rispettivamente “Own Workforce” e “Workers in the value chain”, consiste nello specificare il modo in cui le imprese devono rendere l'informativa inerente gli impatti materiali sui loro lavoratori, sia quelli che prestano

la loro opera per l'azienda (S1) che quelli che lavorano per altre imprese facenti parte della medesima catena del valore (S2).

In particolare, secondo lo *standard S1*, la *disclosure* deve riguardare:

- le condizioni di lavoro, ovvero:
  - la sicurezza della posizione;
  - l'orario di lavoro;
  - l'adeguatezza della retribuzione;
  - il dialogo sociale;
  - la libertà di associazione/aggregazione e contrattazione collettiva;
  - la salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.
- l'eguaglianza di trattamento ed opportunità in relazione alle retribuzioni, al *training*, alla protezione e alla diversità;
- altre condizioni lavorative tra cui il lavoro minorile, l'ospitalità e la *privacy*.

L'impresa deve rendere noti gli obiettivi temporali fissati per ridurre gli impatti negativi sulla propria forza lavoro basandosi su ben 17 *disclosure requirements*.

In particolare, l'S1-14 «*Health and safety metrics*» richiede che l'impresa divulghi informazioni sulla misura in cui il personale è tutelato dal proprio sistema di gestione della salute e della sicurezza, nonché sul numero di incidenti associati a infortuni, malattie e decessi legati alle condizioni di lavoro (inclusa la qualità degli ambienti interni), specificando il conseguente numero di giorni lavorativi persi.

Eventuali impatti materiali negativi sono contemplati anche nello *standard ESRS S3 «Affected communities»* il cui obiettivo è quello di consentire la valutazione degli impatti materiali dell'attività dell'impresa sulla comunità attraverso i prodotti e i servizi erogati e le sue relazioni commerciali.

Gli impatti riguardano i diritti economici, culturali, politici e sociali dei membri della comunità: tra quelli sociali sono espressamente richiamati i diritti a servizi di tipo igienico-sanitario.

Lo *standard ESRS S4 «Consumers and end-users»* contiene le metriche che consentono la valutazione degli impatti materiali dell'attività dell'impresa sui consumatori finali attraverso i prodotti e i servizi erogati e le sue relazioni commerciali.

Gli impatti riguardano la sicurezza personale dei consumatori inclusa quella relativa alla salute e, quindi, le caratteristiche dei processi produttivi dei beni e dei luoghi in cui vengono erogati i servizi, inclusa la qualità dell'aria.

Il riferimento, riguardo a questo ultimo aspetto, va evidentemente a tutti quei servizi che vengono resi in ambienti chiusi ad elevata concentrazione umana come hotel, ristoranti, cinema, teatri, supermercati, negozi, ristoranti, bar, stazioni, treni, navi, aerei, scuole, ospedali, ambulatori, etc.

I relativi obblighi di *disclosure* includono:

- la descrizione del tipo di consumatori specificando se si tratti di:
  - consumatori di prodotti o servizi che possono aumentare il rischio di malattie croniche;
  - consumatori che sono particolarmente vulnerabili sul piano della salute (come ad esempio i bambini).
- la specificazione, in caso di impatti negativi sostanziali, se questi ultimi siano:

- diffusi/sistemici nei luoghi/contesti in cui l'impresa vende i suoi prodotti o eroga i suoi servizi;
- circoscritti a singoli incidenti o specifici rapporti commerciali.

L'obbligo di *disclosure* S4-1 – «*Policies related to consumers*» prevede che l'impresa descriva le politiche adottate per limitare i suoi impatti.

L'obbligo di *disclosure* S4-3 – «*Processes to remediate negative impacts and channels for consumers and end-users to raise concerns*» prevede che l'impresa dia informazione sulle misure adottate per la misurazione e il monitoraggio degli impatti, dando la possibilità agli acquirenti dei propri beni/servizi di manifestare le loro eventuali opinioni/preoccupazioni in merito.

L'obbligo di *disclosure* S4-4 – «*Taking action on material impacts on consumers and end-users*» stabilisce che l'impresa faccia *reporting* relativo alle azioni intraprese per prevenire, mitigare e rimediare agli impatti negativi e alla loro efficacia.

L'obbligo di *disclosure* S4-5 – «*Targets related to managing material negative impacts*» prevede che l'impresa dia informazione circa gli obiettivi fissati in termini di riduzione degli impatti negativi, specificando se questi siano stati fissati attraverso un adeguato *engagement* con i consumatori o loro rappresentanti:

- i *target* devono essere specifici, misurabili, verificabili;
- i *target* devono essere distinti in obiettivi di breve, medio e lungo termine.

La nuova Direttiva sugli obblighi di rendicontazione aziendale non finanziaria, pur non fissando degli obblighi di *compliance* con livelli predefiniti di inquinamento atmosferico, e in generale con parametri ESG specifici, né sanzioni in caso di mancata osservanza (sistema *command&control*), rende cogente la *disclosure* delle *performance* non finanziarie delle imprese.

Queste ultime saranno vagliate dai consumatori, che stanno mostrando una crescente *awareness* relativa ai temi di sostenibilità, e dai mercati con conseguente predilezione da parte sia degli utilizzatori finali che degli investitori per le imprese maggiormente orientate ai temi ESG le quali avranno, dunque, delle *performance* finanziarie migliori rispetto alle imprese meno virtuose.

Con specifico riferimento al tema oggetto di studio vi è, in altri termini, da attendersi che il consumatore consapevole, tenderà a scegliere, a parità di altre condizioni, di fruire di un determinato servizio in quegli ambienti (hotel, sala cinematografica, scuola, nave da crociera, etc.) che garantiscono i migliori *standard* di qualità dell'aria interna.

## 1.5 Verso un quadro regolatorio relativo alla qualità dell'aria *indoor*

Il contesto normativo relativo alla IAQ comincia a prendere forma.

Le Direttive sulla *performance* energetica degli edifici e sulla qualità dell'aria ambiente contengono inequivocabili prodromi della regolazione della qualità dell'aria in ambienti interni.

I nuovi *standard* di rendicontazione sulla sostenibilità introdotti a livello europeo obbligano le imprese ad effettuare una *disclosure* molto dettagliata dei loro impatti sull'inquinamento atmosferico, compreso quello *indoor* e, più in particolare, sulla sicurezza e sulla salute umane con riferimento a:

- i loro dipendenti (ESRS S1 – *Own workforce*);
- i lavoratori lungo l'intera catena del valore (ESRS S2 – *Workers in the value chain*);
- le comunità (ESRS S3 – *Affected Communities*);
- i consumatori e gli utilizzatori finali (ESRS S4 – *Consumers and end users*).

La *disclosure* riguarderà gli impatti e le politiche/azioni poste in essere con finalità di prevenzione, controllo e mitigazione con conseguente impatto sui *rating* ESG.

Le «maglie della rete normativa» si vanno in altri termini facendo più strette attorno al problema della qualità dell'aria *indoor* e l'emanazione degli *standard* settoriali ed *entity-specific* contribuirà in maniera decisiva alla definizione della relativa regolazione.

Il contesto che va delineandosi impone:

- in generale, a tutte le imprese soggette alla CSRD, uno sforzo di rendicontazione e di implementazione di misure di miglioramento della IAQ nei luoghi di lavoro e la valutazione dei costi e dei benefici connessi all'implementazione di questo tipo di sostenibilità sociale;
- in particolare, alle imprese che erogano servizi in ambienti confinati:
  - un ripensamento del concetto di qualità del servizio stesso nella misura in cui quest'ultima dovrà essere declinata anche su parametri relativi alla IAQ e al suo monitoraggio/miglioramento. Da questo punto di vista la qualità dell'aria interna è destinata a costituire un *plus* e diventare un vantaggio competitivo di differenziazione "a-la-Porter<sup>45</sup>" tra imprese eroganti i medesimi servizi;
  - la considerazione delle ricadute reputazionali che la tutela della salute dei consumatori è destinata ad avere anche con riferimento alla IAQ.
- per le imprese che producono la tecnologia (HVAC, sistemi di *detection* e filtrazione, etc.) importanti riflessioni di piano strategico e industriale.

Infatti, pur non essendoci al momento obblighi cogenti di sostenibilità (è per ora il *reporting* ad essere obbligatorio) né, in linea di massima, sanzioni in caso di non ottemperanza, le *performance* aziendali non finanziarie saranno vagliate dai mercati con sempre maggiore attenzione e conseguente predilezione dei consumatori e degli investitori per le imprese maggiormente *ESG-oriented* con impatto sulle loro *performance* finanziarie.

Non è inoltre da escludere che un approccio normativo di tipo *command&control* venga preso in considerazione nell'ambito della definizione del summenzionato quadro normativo-istituzionale in corso di predisposizione.

---

<sup>45</sup> Porter, Michael E. (1985). [Competitive Advantage](#). Free Press. ISBN 0-684-84146-0.

## 2. LE VARIABILI DETERMINANTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO INDOOR E IL CONCETTO DI DALY

### 2.1 Le variabili determinanti

Gli ambienti *indoor*, nella loro vasta pluralità, che va dagli ambienti di comunità con la dimensione di edificio/stabile (quali ambiti ospedalieri, universitari/scolastici, museali, cinematografici/teatrali ecc.) scendendo a dimensioni inferiori (es, singola sala, come ambiti di ristorazione) e all'ambito domestico non sono classificabili e riducibili ad un solo ambiente ma a un insieme eterogeneo caratterizzato molto spesso da più sottolivelli sistemici, ultimo dei quali l'impianto di trattamento dell'aria quando presente.

In questa pluralità di ambienti è presente un ulteriore sistema complesso dovuto all'inquinamento atmosferico definito come l'insieme degli inquinanti gassosi e da particolato atmosferico. Mentre ciascun gas può variare in concentrazione ma le sue proprietà restano inalterate, il particolato atmosferico (PM) è definito come un insieme eterogeneo di particelle solide e liquide con dimensioni tali (1nm-100µm) da rimanere sospese in atmosfera per un tempo variabile dai minuti alle settimane; per definizione stessa il PM include tutte le sorgenti (naturali e antropiche), le tipologie di origine (primaria da emissione diretta, e secondaria da reazioni chimiche e fotochimiche) includendo *ipso facto* anche la frazione biologica (virus, batteri, spore, funghi...) (Seinfeld e Pandis, 2006).

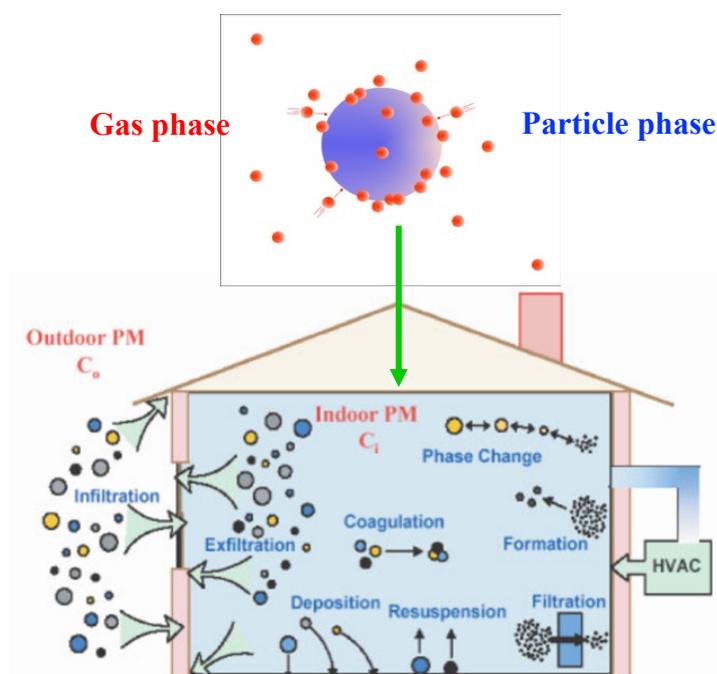


Figura 3. Fase gassosa e particolata in uno schema evolutivo all'interno di un ambiente indoor.

Il PM e la fase gassosa non sono disgiunti, ma mutuamente interagenti e sottoposti ai processi evolutivi riassunti in Figura 3. A causa dell'elevata permanenza in ambienti confinati, il PM e la fase gassosa sono portatori di rischio in ambienti indoor essendo associato a mortalità prematura, all'insorgenza di malattie cardiovascolari, polmonari e respiratorie (Logue et al., 2012). Tutto questo può inoltre esasperare in modo sinergico la mortalità dovuta alla

trasmissione (specialmente in luoghi confinati) di agenti patogeni aero-trasmessi come avvenuto col COVID-19 (Baud et al., 2020). Un opportuno trattamento della qualità dell'aria in ambienti confinati rappresenta un *target* di riduzione delle esternalità negative (costi esterni) indotte dall'effetto sulla salute dell'inquinamento atmosferico, con immediate ricadute sociali ed economiche.

Tuttavia, questo richiede la conoscenza di tutte le variabili determinanti le concentrazioni *indoor* schematizzate in Figura 4.

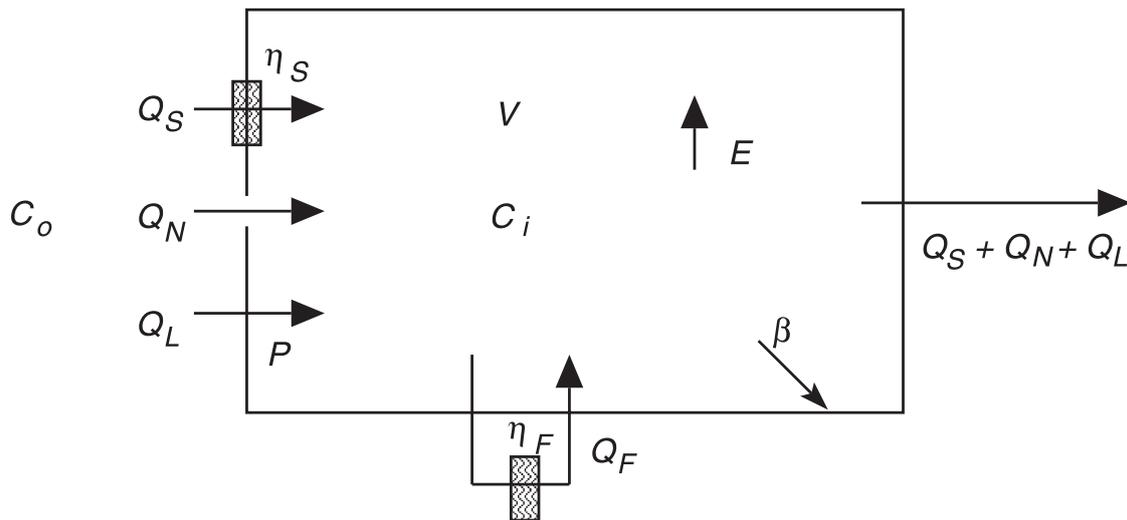


Figura 4. Schema generico delle variabili determinanti le concentrazioni di un *i*-esimo componente atmosferico in ambiente indoor.

Figura 4 riassume l'effetto di ciascuna variabile sulla variazione delle concentrazioni *indoor* nel tempo *t* come descritto da Nazaroff (2004) nella seguente equazione:

$$\frac{d(C_{i,in}V)}{dt} = Ei + C_{i,out}[Q_S(1 - \eta_{i,S}) + Q_N + Q_L P_i] - C_{i,in}[Q_{rec}\eta_{i,F} + \beta_i V + (Q_S + Q_N + Q_L)]$$

(1)

Dove:

- Il pedice *i* si riferisce all'*i*-esimo composto atmosferico e/o classe dimensionale del particolato atmosferico,
- $C_{i,in}$  e  $C_{i,out}$  sono le corrispondenti concentrazioni indoor e outdoor,
- $Q_S$ ,  $Q_N$  and  $Q_L$  rappresentano rispettivamente i flussi di ventilazione meccanica, naturale e gli spifferi,
- $\eta_{i,S}$  rappresenta l'efficienza di filtrazione specifica per l'*i*-esimo composto atmosferico e/o classe dimensionale del particolato atmosferico,
- $P_i$  rappresenta l'efficienza di penetrazione specifica per l'*i*-esimo composto atmosferico e/o classe dimensionale del particolato atmosferico,
- $E_i$  rappresenta l'emissione e/o generazione interna specifica per l'*i*-esimo composto atmosferico e/o classe dimensionale del particolato atmosferico,
- $Q_{rec}$  rappresenta il flusso di ricircolo interno,

- $\eta_{i,F}$  rappresenta l'efficienza di filtrazione specifica sul ricircolo per l'i-esimo composto atmosferico e/o classe dimensionale del particolato atmosferico,
- $\theta_i$  rappresenta la deposizione specifica per l'i-esimo composto atmosferico e/o classe dimensionale del particolato atmosferico,
- $V$  è il volume dell'ambiente *indoor*.

L'equazione 1 mostra come il controllo della qualità dell'aria in ambiente *indoor* può avvenire solo in modo olistico mettendo a sistema competenze:

- Chimiche (ad es. in merito alla formazione, emissione, origine e destino degli inquinanti di interesse)
- Ingegneristiche (ad es. in merito alla progettazione e realizzazione degli impianti di trattamento dell'aria)
- Architettoniche (ad es. in merito al design e alla progettazione dell'edificio e ai conseguenti possibili flussi dovuti a spifferi e ventilazione naturale)

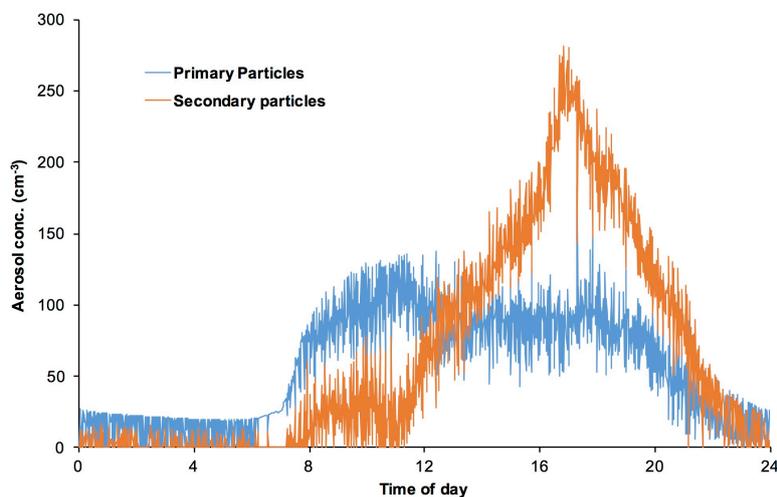


Figura 5. Andamento delle concentrazioni numeriche di particolato atmosferico primario e secondario in ambiente *indoor*.

L'equazione 1 mostra inoltre come la concentrazione *indoor* sia legata alla concentrazione *outdoor*, ma come risenta anche della emissione primaria e/o generazione secondaria in relazione alla presenza di composti precursori.

A questo proposito Figura 5 mostra un chiaro esempio di andamenti disaccoppiati di particolato atmosferico (espresso come concentrazione numerica di particelle) primario e secondario i quali raggiungono picchi di concentrazioni differenti in diversi momenti della giornata. In questo caso agire sul fattore emissivo significa comprendere prima di tutto l'origine dell'inquinante di interesse come ad esempio nel caso di emissione industriale in Figura 6.



*Figura 6. Emissione industriale primaria da taglio laser.*

Infatti, l'equazione 1 può essere estesa per includere processi oltre a quelli rappresentati in Figura 3, come fenomeni di coagulazione e cambiamento di fase. L'approccio generale racchiuso nell'equazione 1 può essere esteso anche a circostanze in cui l'ambiente interno non è rappresentato come un'unica zona ben miscelata.



*Figura 7. Esempio di filtrazione in ambito industriale a carico di particolato atmosferico direttamente alla sorgente.*

Se l'ambiente interno può essere rappresentato come compartimenti multipli e ben mescolati, allora si può scrivere un sistema di equazioni della stessa forma generale dell'equazione 1. Ciascuna equazione descrive la conservazione di un inquinante in una singola zona. Quando le condizioni del flusso d'aria sono tali da non poter ragionevolmente presupporre una miscelazione uniforme all'interno di una zona, è possibile utilizzare un approccio fluidodinamico computazionale per simulare la variabilità spaziale degli attributi delle particelle all'interno della zona (Shimada et al., 1996).

In ambiente *indoor*, il sistema migliore per il trattamento della qualità dell'aria è legato ai processi di filtrazione (Ferrero et al., 2013; Nazaroff, 2004). Il beneficio della filtrazione è ben visibile in Figura 7 in una applicazione industriale e quantificabile in Figura 8 in un istituto

universitario dove il trattamento dell'aria porta le concentrazioni indoor al di sotto del 2% di quelle outdoor .

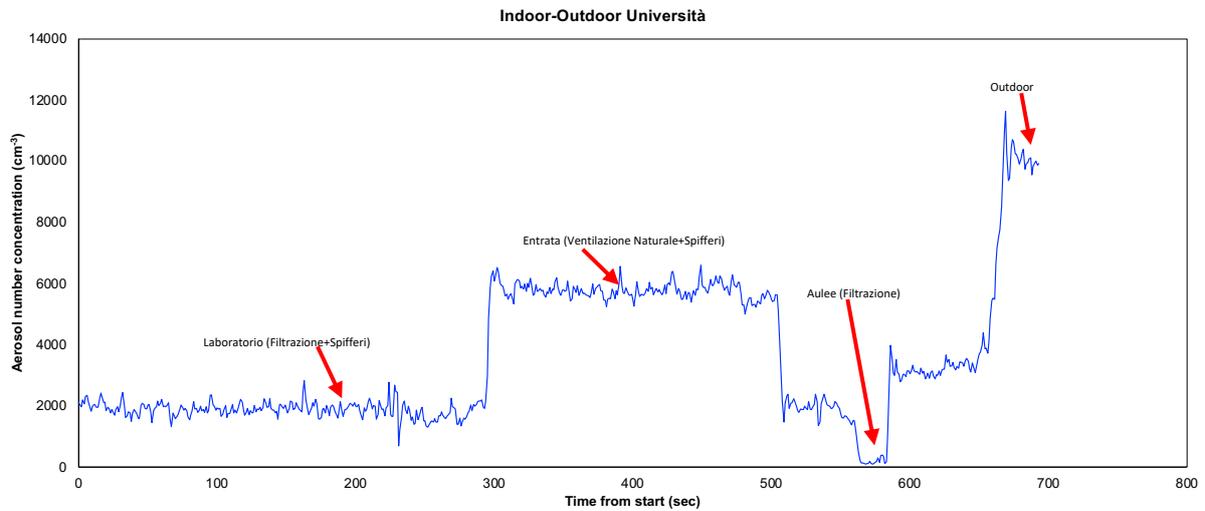


Figura 8. Esempio dell'effetto di filtrazione, ventilazione naturale e spifferi in diversa combinazione tra di loro rispetto alle concentrazioni di particolato atmosferico outdoor.

La determinazione dell'efficienza di un sistema di filtrazione viene effettuata utilizzando le equazioni di Nazaroff (2004), basate sul confronto tra il rateo di perdita di PM dovuto a processi naturali di deposizione e quello indotto dalla presenza di un sistema di filtrazione attivo. Tale applicazione scientifica è stata recepita nella metodologia di riferimento AHAM AC-1-2018 per il calcolo del CADR (*Clean Air Delivery Rate*) intrinsecamente legato alla efficienza di rimozione.

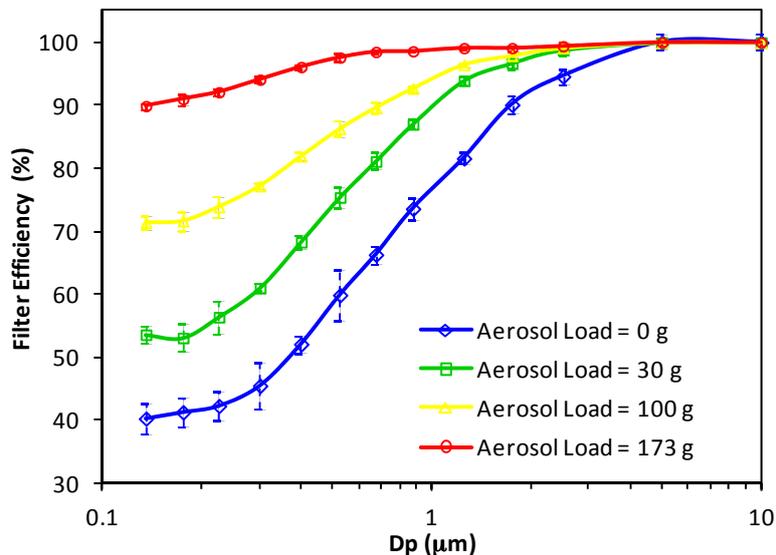


Figura 9. Esempio di efficienza di filtrazione di un filtro industriale a diverso carico di particolato atmosferico in funzione della sua dimensione in termini di diametro delle particelle.

Tuttavia è bene specificare che, nel caso del particolato atmosferico il CADR è classe dimensionale dipendente in funzione della efficienza di filtrazione. Un esempio è riportato in Figura 9 dove è possibile notare l'andamento dimensionale dell'efficienza di filtrazione. E' quindi incorretto confrontare valori di CADR senza riportare l'intervallo dimensionale considerato.

E' infine necessario chiarire come sia fondamentale, ai fini della qualità dell'aria interna, garantire il corretto stato manutentivo tecnico ed igienico, sia ordinario che straordinario, degli impianti HVAC che possono diversamente rappresentare essi stessi fonti di inquinamento (aeraulico).

Una corretta manutenzione è essenziale per garantire un comfort ambientale nel tempo oltre che per prolungare la vita utile degli impianti e ridurre i consumi energetici.

## 2.2 La definizione di DALY

La valutazione dell'impatto sulla salute dell'inquinamento atmosferico può essere effettuata anche attraverso l'indice DALY (*Disability Adjusted Life Years*). Il DALY è un indice introdotto all'interno del *Global Burden of Disease*, dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO = *World Health Organization*), dall'*Harvard School of Public Health* e dall'*Institute for Health Metrics and Evaluation* (IHME).

Gli effetti sulla salute causati da una specifica malattia o da uno specifico fattore di rischio includono la perdita della vita e la riduzione delle normali capacità, entrambi risultanti in una riduzione degli anni di vita trascorsi in salute. All'interno di questo contesto l'indice DALY combina la stima degli anni di vita vissuti con una disabilità e gli anni di vita persi per morte prematura:

$$\text{DALY} = \text{YLL} + \text{YLD} \quad (2)$$

dove YLL = Years of Life Lost e YLD = Years Lived with Disability.

L'indice DALY descrive quindi gli anni di vita trascorsi in una condizione di non salute.

La stima dell'indice DALY avviene attraverso un preciso procedimento (Devleeschauwer et al., 2014):

1. Definizione della popolazione di studio. In primo luogo, è necessario definire il contesto di studio, la popolazione target deve essere delineata definendo l'area e il periodo di studio, che può variare da uno specifico anno a un intervallo di anni;
2. Definizione del modello della patologia. Il modello della patologia funge da riferimento all'interno dell'intero processo di studio. Il decorso della patologia può essere caratterizzato da differenti stati di salute (fase cronica o acuta, effetti a breve o a lungo termine), che presentano diversi livelli di gravità. In tali termini il modello della patologia è una rappresentazione schematica dei diversi stati della patologia e delle transizioni tra gli stessi;
3. La raccolta dei dati. Questa è la fase più cruciale considerando che la qualità del DALY finale calcolato dipende direttamente dalla qualità dei dati alla base delle stime. Se possibile è necessario effettuare una raccolta dati stratificata per classi di età e sesso, questo permetterebbe di consegnare una stima più precisa e differenziata dell'impatto delle patologie, considerando la diversificazione dell'impatto per tali fattori. Un'ulteriore

stratificazione potrebbe tener conto di ulteriori parametri come una differenziazione geografica, occupazionale, dello stato socio-economico.

In generale è necessario raccogliere tre gruppi di dati:

- Dati demografici. Il calcolo del DALY richiede il numero di maschi e femmine, per gruppi di età dell'area in esame e il periodo di campionamento. È inoltre necessario conoscere l'aspettativa di vita, che viene generalmente ricavata da tabelle standardizzate;
- Dati epidemiologici. I dati più rilevanti nel calcolo del DALY sono il numero di casi nei diversi stati di salute definiti dal modello della patologia, inclusa la morte. Il numero dei casi incidenti è dato dal prodotto del tasso di incidenza e la dimensione della popolazione. Per ottenere l'incidenza dei diversi stati di salute è possibile utilizzare più approcci: a) un approccio diretto (l'incidenza dello stato di salute è direttamente disponibile attraverso un registro della mortalità o delle patologie), b) un approccio di attribuzione (l'incidenza dello stato di salute è ottenuta attraverso l'incidenza complessiva dello stato di salute e la probabilità di attribuzione) c) un approccio di transizione
- Dati sulla gravità della patologia. La stima del DALY incorpora la gravità degli stati di salute considerando la durata dello stato di disabilità ed il peso della stessa. La gravità viene ricavata dal *Global Burden of Disease* (Murray et al., 1996; Salomon et al., 2013) o da studi di letteratura scientifica (Stouthard et al., 2000).

4. Correzione dei dati. È necessario definire e valutare i possibili *bias* e le possibili deviazioni riguardanti la stima.

5. Calcolo del DALY. Dopo aver raccolto tutti i dati necessari è possibile stimare il DALY per una specifica patologia, per un possibile fattore di rischio o un fattore di pericolosità.

Il calcolo del DALY (Devleeschauwer et al., 2014) avviene combinando YLD e YLL.

Gli YLD possono essere calcolati come segue:

$$YLD = I \times D \times L \quad (3)$$

dove L è la durata della patologia fino al ristabilimento o fino alla morte; I è il numero di casi di disabilità causati dalla specifica patologia, D è il peso della disabilità.

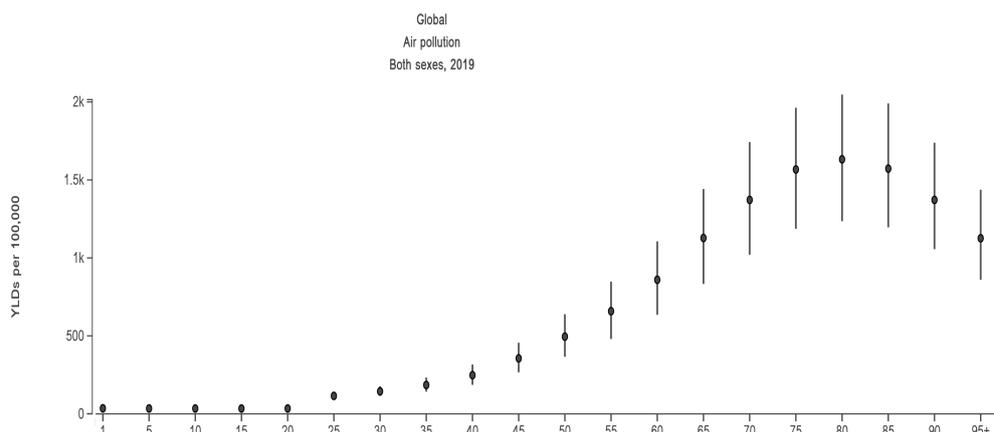


Figura 10. Esempio di YLD in funzione dell'età anagrafica.

Il peso della disabilità è un fattore cruciale perché permette di ricavare a partire dalla morbilità (intesa come presenza di malattia, detta anche morbilità o morbosità, e pari alla frequenza percentuale di una data malattia in una data collettività) gli anni di vita in salute persi e permette quindi di comparare morbilità e mortalità (intesa come rapporto

percentuale fra numero di morti e numero dei componenti di una popolazione in un determinato periodo di tempo).

La Figura 10 mostra come esempio l'andamento dell'YLD per entrambi i sessi dipendente dall'età anagrafica in relazione a tutte le possibili variabili categorizzate come inquinamento atmosferico, mostrando come questo aumenta con l'età raggiungendo un massimo a 80 anni e pertanto permettendo di classificare il rischio di lavoratori e/o della popolazione esposta all'interno di un ambiente indoor in funzione della sua età.

Gli YLL possono essere calcolati come segue:

$$YLL = N \times L \quad (4)$$

dove N è il numero di morti premature causate dalla specifica patologia, L è la perdita di aspettativa di vita per ogni morte (86 anni per entrambi i sessi<sup>46</sup>).

L'indice DALY è stato applicato in numerosi studi per la quantificazione dell'impatto correlato all'esposizione della popolazione a molteplici inquinanti ambientali. Ad esempio, lo studio di Kim et al. (2011) è stato stimato l'impatto sulla salute umana a seguito dell'attività degli inceneritori a Seoul, in Korea. Sono state prese in considerazione le emissioni di PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e CO di quattro distinti inceneritori presenti nelle zone periferiche della città e sono stati considerati come principali effetti sulla salute l'insorgenza di patologie di carattere respiratorio e cardiovascolare. Attraverso l'uso dei Sistemi Informativi Territoriali (SIT) e di un modello di dispersione atmosferica, sono state stimate le concentrazioni addizionali dovute alle emissioni degli inceneritori. È stata successivamente definita la frazione di popolazione esposta a tale impatto (PAF = *population attributable fraction*) e l'impatto è stato quantificato attraverso l'utilizzo dell'indice DALY.

Ragas et al. (2011) propone uno studio focalizzato sul rischio sulla salute derivante dall'esposizione al PM<sub>10</sub>, benzene, toluene, nonano, naftalene in ambiente sia indoor che outdoor e dall'esposizione a sei distinti pesticidi. In particolare, per gli inquinanti atmosferici, è stata valutata l'esposizione in cinque distinti microambienti (*outdoor*, casa, ufficio, scuola/asili, mezzi pubblici) in funzione del tempo di permanenza negli stessi. Per valutare l'effetto complessivo sono stati presentati quattro distinti scenari, in modo da considerare la presenza o meno di interazioni tra i composti chimici e tra gli effetti derivanti. L'impatto è stato calcolato a partire dai valori di DALY stimati.

Il DALY è pertanto il principale indice di valutazione alla base dello studio dell'impatto economico dell'inquinamento sulla salute da parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità.

### 2.3 Il calcolo DALY/anno

DALY, YLD e YLL sono per loro natura espressi in termini di tempo (anni). Tuttavia, risulta più utile riportare i danni risultanti dall'inquinamento atmosferico in unità di anni di vita vissuti con disabilità all'anno (DALY/anno, YLD/anno, YLL/anno).

Infatti, i danni alla salute possono essere tradotti in costi dei danni all'anno consentendo di confrontare differenti scenari proposti in termini monetari come dimostrato da Chavanaves et al. (2021).

Al fine quindi di valutare l'impatto sulla salute dovuto all'inquinamento atmosferico i DALY/anno sono quantificati mediante la metodologia proposta da Gronlung et al. (2015)

---

<sup>46</sup> Tale è l'ipotesi dello studio di Devleeschauwer et al., 2014.

attraverso una relazione concentrazione-risposta tenendo conto della popolazione esposta e della severità del danno derivante:

$$DALY/anno = \sum_{d=1}^{cods} \sum_{i=1}^{counties} \sum_{a=1}^{ages} CRF_{da} \cdot SF_{da} \cdot POP_{ai} \cdot C_i \quad (5)$$

Dove CRF rappresenta il fattore concentrazione-risposta, SF i *severity factor*, POP la popolazione esposta e C la concentrazione di esposizione; i fattori sono modulati dalle diverse cause di morte/disabilità (d), i luoghi di riferimento (i) e l'età della popolazione considerata (a).

Il fattore concentrazione-risposta (CRF, tasso di mortalità annuale associato per  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di inquinante inalato) per ogni causa di morte (patologie cardiovascolari, patologie respiratorie, tutte le cause) è definito come il rapporto tra l'incremento del tasso di mortalità attribuita all'inquinante stesso: il fattore di rischio relativo per ogni unità aggiuntiva di inquinante è alla base della stima del CRF. Il fattore concentrazione-risposta può essere quindi stimato conoscendo il tasso di mortalità dovuto specificatamente a un particolare inquinante, oppure combinando il tasso di mortalità totale, per le specifiche cause di morte, ed i fattori di rischio relativo. I dati ricavati dall'IHME (*Institute for Health Metrics and Evaluation*) permetterebbero in teoria di perseguire entrambe le misure, ma l'utilizzo del tasso di mortalità dovuto ad esempio al particolato atmosferico presenta una serie di limitazioni: in primo luogo i dati dell'IHME permettono di ricavare la mortalità per specifiche cause dovuta solo e soltanto al  $\text{PM}_{2.5}$ , e non al  $\text{PM}_{10}$  e al  $\text{PM}_{10-2.5}$ , mentre l'utilizzo dei fattori RR (Relative Risk) permette di isolare la mortalità per le tre diverse frazioni del particolato atmosferico. Inoltre, l'utilizzo dei fattori di rischio relativo permette di considerare una variazione del rischio in base alla popolazione esposta, elaborazione e considerazioni non attuabili in caso di utilizzo diretto del valore di mortalità dovuto al particolato atmosferico.

I *severity factors* mettono in relazione il numero di casi di morte per una specifica patologia con il numero corrispondente di DALY. Nello specifico i *severity factors* vengono espressi dal semplice rapporto tra le due variabili (DALY/casi di morte) e rappresentano quindi il fulcro della determinazione dei DALY/anno. Tali dati sono ricavabili dal *Global Burden of Disease (GBD) Study* che mette a disposizione dati di mortalità e di DALY differenziati in base alle cause di morte, ai fattori di rischio, al Paese, all'anno, all'età, al sesso. Nel nostro progetto sono stati utilizzati i rapporti DALY/casi di morte specifici per il territorio italiano e per il più recente anno di riferimento disponibile. Sono state prese in considerazione come cause di morte le patologie cardiovascolari, respiratorie e tutte le patologie (all causes). Tali dati sono stati inoltre riferiti al fattore di rischio da particolato atmosferico: lo studio del *Global Burden of Disease* ha stimato la mortalità e il numero di DALY corrispondenti all'esposizione alle concentrazioni di  $\text{PM}_{2.5}$  riscontrate in ambiente. Tali dati sono stati utilizzati ipotizzando che i *severity factors* stimati per il  $\text{PM}_{2.5}$  siano validi anche per le frazioni  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{PM}_{10-2.5}$ .

Per quanto riguarda la popolazione è necessario fare presente che, in generale, l'applicazione della metodologia considerata agli ambienti *indoor* necessita di una serie di premesse. All'interno *indoor*, infatti, coesistono due principali tipi di popolazioni esposte all'inquinamento: il personale lavoratore e non lavoratore.

Non è stata considerata la variabile sesso dato che gli studi epidemiologici non hanno mostrato significative evidenze di differenti impatti tra soggetti maschili e femminili.

## 2.4 I casi di studio

L'utilizzo della metodologia DALY è stato avviato all'interno dell'osservatorio considerando due casi di studio, rispettivamente:

- a) Scuole Primarie e Secondarie di I grado
- b) Ospedali

Questi due casi di studio sono stati scelti di concerto all'interno dell'osservatorio per mostrare l'effetto su una popolazione vulnerabile come quella scolastica e di persone ospedalizzate, assieme all'effetto sulla fascia lavoratrice come nel caso delle scuole. Le variabili di qualità dell'aria selezionate sono state il PM<sub>2.5</sub> e il PM<sub>10</sub>.

### 2.4.1 Le scuole

Nel caso delle scuole sono state prese in considerazione due scuole Lombarde direttamente monitorate e dati di letteratura ricavati da Marcon et al. (2014), Rovelli et al. (2014) e Ruggieri et al. (2018).

L'applicazione della metodologia DALY/anno sopra descritta è stata applicata a due classi distinte considerando le seguenti basi e ipotesi:

- gli studenti il cui ricambio è continuo considerando un flusso ingresso analogo a quello in uscita;
- il personale docente è conteggiato sulla reale presenza nelle scuole e la sua popolazione estesa a tutta Italia è considerata costante nel tempo;
- per entrambi i gruppi sopracitati sono stati utilizzati i dati Istat di popolazione nazionale e/o di popolazione nota per ciascuna scuola;
- i valori medi sono confrontati con quelli *upper* e *lower*, dove le due diciture si riferiscono alla media  $\pm$  intervallo di confidenza delle concentrazioni e dei parametri epidemiologici di equazione 5

I risultati sono mostrati da Tabella 9 a 12 per il PM<sub>2.5</sub> e da Tabella 13 a 16 per il PM<sub>10</sub>. Si osserva che se consideriamo la popolazione Italiana di studenti e docenti la fascia di DALY/anno supera abbondantemente le migliaia di anni di vita vissuti con disabilità, e in generale si può affermare che per ogni  $\mu\text{g m}^{-3}$  addizionale di esposizione al PM, una singola persona vive in media 0.16 giorni/anno con disabilità sottolineando come nei contesti vulnerabili, come quello scolastico, sistemi di abbattimento delle concentrazioni sono fondamentali.

**DALY, YLL, YLD All Causes**

<b>School 1 case, Secondary local South Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	836	15.2	10.0	20.5	14.1	9.3	18.8	1.2	0.6	2.0	
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	42	0.6	0.4	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.1	0.3	
<b>School 1 case, Secondary local South Italy extended to all Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	1557403	28405.1	18563.0	38134.3	26174.6	17276.6	35072.6	2230.6	1159.4	3748.9	
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	77870	1084.9	711.3	1462.9	722.6	476.9	968.2	365.2	199.5	559.1	
<b>School 2 case, Primary, local Rome</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	125	2.4	2.1	2.6	2.0	1.8	2.2	0.4	0.3	0.5	
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
<b>School 2 case, Primary, local Rome extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	2260929	43018.5	38283.9	47735.3	35958.3	32080.4	39835.9	7060.2	5007.8	9401.7	
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	250202	3080.8	2730.3	3434.7	2051.9	1830.7	2273.2	1037.0	765.7	1312.7	
<b>School 3 case, Primary, local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	43.3	25.5	61.2	2260929	65789.8	38568.5	93067.0	54992.4	32318.8	77666.0	10797.4	5045.0	18329.9	
>25 anni	Insegnanti	43.3	25.5	61.2	250202	4711.6	2750.6	6696.4	3138.1	1844.3	4431.9	1585.9	771.4	2559.4	
<b>School 4 case, Primary, local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	62.8	42.3	83.2	2260929	95278.6	64040.9	126563.1	79641.5	53663.7	105619.1	15637.1	8376.9	24927.1	
>25 anni	Insegnanti	62.8	42.3	83.2	250202	6823.4	4567.2	9106.5	4544.7	3062.3	6027.1	2296.8	1280.8	3480.5	

*Tabella 9. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per tutte le cause di patologia, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>2.5</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD Lung Cancer**

<b>School 1 case, Secondary local South Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	836										
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	42	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	
<b>School 1 case, Secondary local South Italy extended to all Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	1557403										
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	77870	738.6	487.0	990.3	731.2	482.6	979.8	7.4	4.0	11.3	
<b>School 2 case, Primary, local Rome</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	125										
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	6	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
<b>School 2 case, Primary, local Rome extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	2260929										
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	250202	2097.4	1869.2	2325.1	2076.5	1852.5	2300.4	21.0	15.2	26.4	
<b>School 3 case, Primary, local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	43.3	25.5	61.2	2260929										
>25 anni	Insegnanti	43.3	25.5	61.2	250202	3207.7	1883.1	4533.2	3175.6	1866.3	4485.0	32.1	15.3	51.6	
<b>School 4 case, Primary, local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
5-9 anni	Studenti	62.8	42.3	83.2	2260929										
>25 anni	Insegnanti	62.8	42.3	83.2	250202	4645.5	3126.8	6164.7	4599.0	3098.9	6099.2	46.5	25.4	70.1	

*Tabella 10. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per i tumori polmonari, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>2.5</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD COPD**

<b>School 1 case. Secondary local South Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	836										
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	42	1.5	1.0	2.1	0.4	0.3	0.5	1.1	0.7	1.6	
<b>School 1 case. Secondary local South Italy extended to all Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	1557403										
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	77870	2841.2	1844.7	3839.0	731.2	482.6	979.8	2115.4	1323.5	2959.7	
<b>School 2 case. Primary local Rome</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	125										
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	6	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	
<b>School 2 case. Primary local Rome extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	2260929										
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	250202	8068.3	7080.7	9013.3	2076.5	1852.5	2300.4	6007.1	5080.1	6948.8	
<b>School 3 case. Primary local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	43.3	25.5	61.2	2260929										
>25 anni	Insegnanti	43.3	25.5	61.2	250202	12339.1	7133.3	17572.7	3175.6	1866.3	4484.9	9186.8	5117.8	13547.7	
<b>School 4 case. Primary local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	62.8	42.3	83.2	2260929										
>25 anni	Insegnanti	62.8	42.3	83.2	250202	17869.8	11844.5	23897.4	4599.0	3098.9	6099.1	13304.6	8497.9	18423.7	

*Tabella 11. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per le patologie croniche ostruttive polmonari, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>2.5</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD Cardiovascular**

<b>School 1 case. Secondary local South Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	836										
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	42	0.5	0.3	0.6	0.4	0.3	0.5	0.1	0.0	0.1	
<b>School 1 case. Secondary local South Italy extended to all Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	32.1	21.2	43.0	1557403										
>25 anni	Insegnanti	32.1	21.2	43.0	77870	877.6	572.5	1188.0	723.7	477.7	969.8	154.3	87.6	232.9	
<b>School 2 case. Primary local Rome</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	125										
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	6	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	
<b>School 2 case. Primary local Rome extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	28.3	25.3	31.4	2260929										
>25 anni	Insegnanti	28.3	25.3	31.4	250202	2492.1	2197.4	2789.2	2055.2	1833.6	2276.9	438.3	336.3	546.8	
<b>School 3 case. Primary local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	43.3	25.5	61.2	2260929										
>25 anni	Insegnanti	43.3	25.5	61.2	250202	3811.3	2213.8	5438.0	3143.1	1847.2	4439.1	670.3	338.8	1066.2	
<b>School 4 case. Primary local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	62.8	42.3	83.2	2260929										
>25 anni	Insegnanti	62.8	42.3	83.2	250202	5519.6	3675.8	7395.3	4551.9	3067.2	6036.7	970.7	562.6	1449.9	

*Tabella 12. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per le patologie cardiovascolari, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>2.5</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD All Causes**

<b>School 1 case. Primary extended to all the Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	168.3	90.9	245.8	2260929	254539.4	137147.8	372197.0	212764.4	114924.2	310604.9	41775.0	17939.7	73305.7	
>25 anni	Insegnanti	168.3	90.9	245.8	250202	18229.0	9781.0	26780.5	12141.2	6558.2	17724.4	6135.9	2742.9	10235.5	

<b>School 2 case. Primary extended to all the Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	247.3	56.8	437.8	2260929	373939.2	85737.7	663012.7	312568.4	71844.7	553295.6	61370.8	11215.0	130583.0	
>25 anni	Insegnanti	247.3	56.8	437.8	250202	26779.9	6114.6	47705.5	17836.5	4099.8	31573.4	9014.2	1714.7	18232.9	

<b>School 3 case. Secondary I grade. local Milan</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	272	20.6	10.1	31.1	19.0	9.4	28.6	1.6	0.6	3.1	
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	30	1.7	0.8	2.6	1.2	0.6	1.7	0.6	0.2	1.0	

<b>School 4 case. Primary. local Milan</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	176	15.7	7.7	23.8	13.2	6.5	19.8	2.6	1.0	4.7	
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	19	1.1	0.5	1.7	0.7	0.4	1.1	0.4	0.2	0.6	

<b>School 3 case. Secondary I grade. local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	1557403	118058.4	57569.4	178312.3	108787.7	53580.0	163996.0	9270.7	3595.8	17529.4	
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	77870	4509.1	2206.0	6840.5	3003.2	1479.2	4527.3	1517.8	618.7	2614.4	

<b>School 4 case. Primary. local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	2260929	202301.3	99389.2	305464.8	169099.7	83284.1	254915.7	33201.7	13000.7	60162.5	
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	250202	14487.9	7088.2	21979.0	9649.5	4752.6	14546.6	4876.7	1987.8	8400.3	

*Tabella 13. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per tutte le cause di patologia, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>10</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD Lung Cancer**

<b>School 1 case. Primary extended to all the Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	168.3	90.9	245.8	2260929										
>25 anni	Insegnanti	168.3	90.9	245.8	250202	12365.9	6672.2	18064.1	12242.2	6612.6	17871.9	123.9	54.3	205.5	

<b>School 2 case. Primary extended to all the Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	247.3	56.8	437.8	2260929										
>25 anni	Insegnanti	247.3	56.8	437.8	250202	18166.5	4171.1	32178.4	17984.7	4133.9	31836.2	182.0	33.9	366.0	

<b>School 3 case. Secondary I grade. local Milan</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	272										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	30	1.2	0.6	1.8	1.2	0.6	1.8	0.0	0.0	0.0	

<b>School 4 case. Primary. local Milan</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	176										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	19	0.7	0.4	1.1	0.7	0.4	1.1	0.0	0.0	0.0	

<b>School 3 case. Secondary I grade. local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	1557403										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	77870	3058.8	1504.9	4614.1	3028.2	1491.4	4565.0	30.6	12.2	52.5	

<b>School 4 case. Primary. local Milan extended to whole Italy</b>							DALY/year			YLL/year			YLD/year		
Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	2260929										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	250202	9828.1	4835.3	14825.3	9729.8	4792.1	14667.6	98.4	39.3	168.6	

*Tabella 14. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per i tumori polmonari, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>10</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD COPD**

**School 1 case. Primary extended to all the Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	168.3	90.9	245.8	2260929										
>25 anni	Insegnanti	168.3	90.9	245.8	250202	47568.0	25274.5	70024.7	12242.2	6612.6	17871.8	35415.7	18133.3	53985.7	

**School 2 case. Primary extended to all the Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	247.3	56.8	437.8	2260929										
>25 anni	Insegnanti	247.3	56.8	437.8	250202	69881.4	15800.3	124738.4	17984.8	4133.9	31836.0	52028.6	11336.0	96167.3	

**School 3 case. Secondary I grade. local Milan**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	272										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	30	4.5	2.2	6.9	1.2	0.6	1.8	3.4	1.6	5.3	

**School 4 case. Primary. local Milan**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	176										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	19	2.9	1.4	4.4	0.7	0.4	1.1	2.1	1.0	3.4	

**School 3 case. Secondary I grade. local Milan extended to whole Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	1557403										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	77870	11766.3	5700.5	17886.3	3028.2	1491.4	4565.0	8760.3	4089.8	13789.4	

**School 4 case. Primary. local Milan extended to whole Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	2260929										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	250202	37805.9	18316.1	57469.8	9729.8	4792.1	14667.5	28147.5	13140.9	44306.4	

*Tabella 15. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per le patologie croniche ostruttive polmonari, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>10</sub> riportate.*

**DALY, YLL, YLD Cardiovascular**

**School 1 case. Primary extended to all the Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	168.3	90.9	245.8	2260929										
>25 anni	Insegnanti	168.3	90.9	245.8	250202	14760.7	7879.9	21769.8	12172.8	6575.2	17770.7	2595.9	1206.0	4268.1	

**School 2 case. Primary extended to all the Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	247.3	56.8	437.8	2260929										
>25 anni	Insegnanti	247.3	56.8	437.8	250202	21684.6	4926.1	38779.6	17882.9	4110.5	31655.7	3813.6	753.9	7603.0	

**School 3 case. Secondary I grade. local Milan**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	272										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	30	1.4	0.7	2.1	1.2	0.6	1.7	0.2	0.1	0.4	

**School 4 case. Primary. local Milan**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	176										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	19	0.9	0.4	1.4	0.7	0.4	1.1	0.2	0.1	0.3	

**School 3 case. Secondary I grade. local Milan extended to whole Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
10-14 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	1557403										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	77870	3651.1	1777.3	5560.6	3011.0	1483.0	4539.1	642.1	272.0	1090.2	

**School 4 case. Primary. local Milan extended to whole Italy**

Age	Categoria	PM ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM lower ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	PM upper ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Popolazione	DALY/year			YLL/year			YLD/year			
						mean	lower	upper	mean	lower	upper	mean	lower	upper	
5-9 anni	Studenti	133.8	65.9	201.7	2260929										
>25 anni	Insegnanti	133.8	65.9	201.7	250202	11731.4	5710.5	17866.6	9674.7	4765.0	14584.5	2063.2	873.9	3502.9	

*Tabella 16. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno per le patologie cardiovascolari, ottenuti nelle scuole a livello locale e estese alla popolazione di studenti e docenti italiani a causa delle concentrazioni indoor di PM<sub>10</sub> riportate.*

## 2.4.2 Gli ospedali

L'applicazione della metodologia DALY/anno sopra descritta è stata applicata ai pazienti ospedalieri considerando le seguenti basi e ipotesi:

- i dati di concentrazione rilevati si riferiscono a un caso studio lombardo;
- premettendo che nel contesto di una struttura ospedaliera i soggetti ricoverati possono permanere per periodi molto variabili, da poche ore a più giorni, si può ipotizzare che ci sia un ricambio continuo di pazienti e che quindi ogni postazione-letto sia occupata da un paziente per l'intero arco della giornata. La valutazione effettuata non è influenzata dal continuo ricambio delle persone esposte all'inquinamento: in questa sede non vengono considerate distinzioni tra i soggetti ricoverati all'interno del medesimo reparto e di conseguenza gli impatti non saranno condizionati dalla diversità di risposta degli individui, ma semplicemente dalla esposizione. Considerando quindi un ricambio continuo dei pazienti ricoverati, per ogni postazione ci sarà un soggetto che subirà gli effetti dovuti all'esposizione al PM. Tali condizioni permettono di valutare gli impatti solo per i reparti che fungono da degenze all'interno dei piani monitorati: risulta infatti complesso considerare l'impatto in reparti che ospitano attività ambulatoriali o day hospital dato che, in tali ambienti, non è valido ipotizzare un ricambio continuo dei pazienti,
- considerando che l'ambiente ospedaliero ospita persone in condizioni di salute non ottimali, è necessario tener conto nella valutazione d'impatto della maggiore vulnerabilità di alcuni soggetti ospedalizzati. In particolare, risultano maggiormente suscettibili all'impatto da inquinamento atmosferico quei soggetti che presentano preesistenti patologie di tipo respiratorio e cardiovascolare; è lecito pensare che l'impatto del particolato atmosferico su persone con problemi di salute distinti da quelli appena citati non sia superiore rispetto alla popolazione non ospedalizzata. Nell'ambito della valutazione dell'impatto del particolato atmosferico, la maggiore vulnerabilità dei pazienti di chirurgia vascolare, chirurgia toracica e cardiocirurgia può essere espressa in termini di un maggior CRF. In letteratura un numero esiguo di studi ha analizzato ed approfondito l'impatto maggiorato del particolato atmosferico su soggetti con preesistenti patologie o con uno stato di salute alterato. Nell'ambito della nostra indagine, i dati necessari sono stati recuperati da uno studio di Bateson et al. (2004). I risultati sono mostrati in Tabella 17 e 18 per PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub> rispettivamente.

PIANO	Causes	Parametro	PM2.5 (µg/m³)	POP	Burden of Disease PM2.5 (years <sup>-1</sup> )
PIANO 11	All Causes	DALY/year	5.45	25	0.018
		YLL/year			0.012
		YLD/year			0.006
	CVDs	DALY/year			0.006
		YLL/year			0.005
		YLD/year			0.000
	Respiratory Disease	DALY/year			0.002
		YLL/year			0.001
		YLD/year			0.001
	Lung Cancer	DALY/year			0.002
		YLL/year			0.002
		YLD/year			0.000
PIANO 10	All Causes	DALY/year	11.4	24	0.035
		YLL/year			0.024
		YLD/year			0.012
	CVDs	DALY/year			0.011
		YLL/year			0.011
		YLD/year			0.000
	Respiratory Disease	DALY/year			0.004
		YLL/year			0.002
		YLD/year			0.002
	Lung Cancer	DALY/year			0.004
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.000
PIANO 9	All Causes	DALY/year	6.97	34	0.031
		YLL/year			0.021
		YLD/year			0.010
	CVDs	DALY/year			0.010
		YLL/year			0.009
		YLD/year			0.000
	Respiratory Disease	DALY/year			0.003
		YLL/year			0.002
		YLD/year			0.001
	Lung Cancer	DALY/year			0.004
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.000
PIANO 8	All Causes	DALY/year	11.06	25	0.036
		YLL/year			0.024
		YLD/year			0.012
	CVDs	DALY/year			0.011
		YLL/year			0.011
		YLD/year			0.000
	Respiratory Disease	DALY/year			0.004
		YLL/year			0.002
		YLD/year			0.002
	Lung Cancer	DALY/year			0.004
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.000
PIANO 7	All Causes	DALY/year	10.79	32	0.045
		YLL/year			0.030
		YLD/year			0.015
	CVDs	DALY/year			0.014
		YLL/year			0.013
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.005
		YLL/year			0.003
		YLD/year			0.002
	Lung Cancer	DALY/year			0.005
		YLL/year			0.005
		YLD/year			0.000
PIANO 5	All Causes	DALY/year	10.49	44	0.060
		YLL/year			0.040
		YLD/year			0.020
	CVDs	DALY/year			0.019
		YLL/year			0.018
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.003
	Lung Cancer	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.007
		YLD/year			0.000
PIANO 4	All Causes	DALY/year	9.45	48	0.059
		YLL/year			0.039
		YLD/year			0.019
	CVDs	DALY/year			0.018
		YLL/year			0.018
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.003
	Lung Cancer	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.007
		YLD/year			0.000
PIANO 3	All Causes	DALY/year	10.61	23	0.031
		YLL/year			0.021
		YLD/year			0.010
	CVDs	DALY/year			0.010
		YLL/year			0.009
		YLD/year			0.000
	Respiratory Disease	DALY/year			0.003
		YLL/year			0.002
		YLD/year			0.001
	Lung Cancer	DALY/year			0.004
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.000

Tabella 17. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno ottenuti nei vari piani di un Ospedale Lombardo in funzione del numero di degenze e delle concentrazioni di PM<sub>2.5</sub>.

PIANO	Causes	Parametro	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	POP	Burden of Disease PM10 (years <sup>-1</sup> )
PIANO 11	All Causes	DALY/year	13.31	25	0.043
		YLL/year			0.029
		YLD/year			0.014
	CVDs	DALY/year			0.014
		YLL/year			0.013
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.005
		YLL/year			0.003
		YLD/year			0.002
	Lung Cancer	DALY/year			0.005
		YLL/year			0.005
		YLD/year			0.000
PIANO 10	All Causes	DALY/year	26.93	24	0.083
		YLL/year			0.056
		YLD/year			0.027
	CVDs	DALY/year			0.026
		YLL/year			0.025
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.009
		YLL/year			0.005
		YLD/year			0.004
	Lung Cancer	DALY/year			0.010
		YLL/year			0.010
		YLD/year			0.000
PIANO 9	All Causes	DALY/year	11.29	34	0.050
		YLL/year			0.033
		YLD/year			0.016
	CVDs	DALY/year			0.016
		YLL/year			0.015
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.006
		YLL/year			0.003
		YLD/year			0.002
	Lung Cancer	DALY/year			0.006
		YLL/year			0.006
		YLD/year			0.000
PIANO 8	All Causes	DALY/year	20.37	25	0.066
		YLL/year			0.044
		YLD/year			0.022
	CVDs	DALY/year			0.021
		YLL/year			0.020
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.003
	Lung Cancer	DALY/year			0.008
		YLL/year			0.008
		YLD/year			0.000
PIANO 7	All Causes	DALY/year	13.85	32	0.057
		YLL/year			0.038
		YLD/year			0.019
	CVDs	DALY/year			0.018
		YLL/year			0.017
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.006
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.003
	Lung Cancer	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.007
		YLD/year			0.000
PIANO 5	All Causes	DALY/year	23.78	44	0.135
		YLL/year			0.091
		YLD/year			0.044
	CVDs	DALY/year			0.043
		YLL/year			0.041
		YLD/year			0.002
	Respiratory Disease	DALY/year			0.015
		YLL/year			0.009
		YLD/year			0.006
	Lung Cancer	DALY/year			0.016
		YLL/year			0.016
		YLD/year			0.000
PIANO 4	All Causes	DALY/year	17.69	48	0.110
		YLL/year			0.074
		YLD/year			0.036
	CVDs	DALY/year			0.035
		YLL/year			0.033
		YLD/year			0.002
	Respiratory Disease	DALY/year			0.012
		YLL/year			0.007
		YLD/year			0.005
	Lung Cancer	DALY/year			0.013
		YLL/year			0.013
		YLD/year			0.000
PIANO 3	All Causes	DALY/year	19.88	23	0.059
		YLL/year			0.040
		YLD/year			0.019
	CVDs	DALY/year			0.019
		YLL/year			0.018
		YLD/year			0.001
	Respiratory Disease	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.004
		YLD/year			0.003
	Lung Cancer	DALY/year			0.007
		YLL/year			0.007
		YLD/year			0.000

Tabella 18. Esempio di DALY/anno, YLD/anno e YLL/anno ottenuti nei vari piani di un Ospedale Lombardo in funzione del numero di degenze e delle concentrazioni di PM<sub>10</sub>.

### 3. I COSTI ESTERNI DA INQUINAMENTO ATMOSFERICO INDOOR DA PARTICOLATO NELLE SCUOLE E NEGLI OSPEDALI ITALIANI

Le esternalità rappresentano le differenze fra i costi e i ricavi creati dalle attività private e i costi e i ricavi che esse generano per la società nel suo insieme. Le esternalità si verificano in un'economia quando la produzione o il consumo di un bene o servizio specifico ha un impatto su una terza parte che non è direttamente correlata alla produzione o al consumo di quel bene o servizio e che non riceve alcuna compensazione per il danno subito (esternalità negativa) o che non paga alcun prezzo per il beneficio ricevuto (esternalità positiva).

Uno degli esempi più noti di esternalità negativa è quello dell'inquinamento atmosferico causato dalla combustione dei combustibili fossili i cui effetti negativi sulla salute ricadono sull'intera comunità. In altri termini un'azienda può ad esempio decidere di ridurre i suoi costi e aumentare i suoi profitti implementando nuove operazioni più dannose per l'ambiente (bruciando carbone, meno costoso ma più inquinante, in luogo di gas naturale, più costoso ma meno inquinante). Ciò determina tuttavia un'esternalità ambientale negativa per la società a cui corrisponde un costo sociale. Le esternalità si considerano negative appunto quando i costi sociali sono maggiori dei costi privati. Tale differenza rappresenta il costo esterno ovvero il valore che viene attribuito al danno. Per monetizzare quest'ultimo è possibile adottare la "metodologia dei sentieri di impatto", illustrata in Figura 11 e sviluppata nell'ambito del progetto europeo ExternE<sup>47</sup>, la quale prevede fasi diverse: la prima è costituita dall'identificazione della fonte e della quantità di emissione nell'unità di tempo. La seconda consiste nella determinazione della dispersione/concentrazione dell'inquinante a cui corrisponde un certo impatto sulla salute umana quantificato sulla base di opportune funzioni dose-risposta come visto nel capitolo precedente.

L'ultima fase è rappresentata dall'attribuzione di un valore monetario all'impatto, ovvero alla quantificazione del costo esterno.

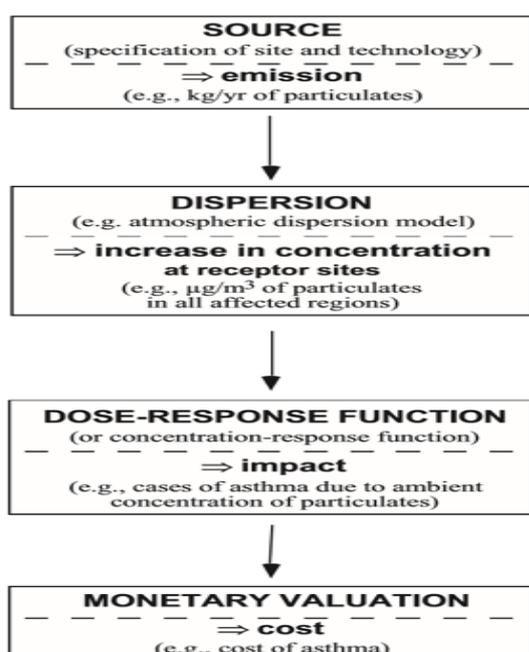


Figura 11. Metodologia dei sentieri di Impatto.

<sup>47</sup> <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/b2b86b52-4f18-4b4e-a134-b1c81ad8a1b2>

### 3.1 Le principali metodologie di valorizzazione economica della mortalità e della morbilità da inquinamento atmosferico

Per la quantificazione dei costi esterni esistono varie metodologie.

Poiché le esternalità interessano generalmente beni che per loro natura non presentano un prezzo di mercato (ad es: aria pulita) e come tali non sono specificati da alcuna funzione di domanda e da alcuna funzione di utilità derivante dalla fruizione del bene stesso, a differenza di quanto accade nell'analisi finanziaria privata in cui si utilizzano solo costi e ricavi monetari calcolabili a partire dai prezzi di mercato, per i suddetti beni è necessario calcolare un prezzo «ombra».

Il prezzo ombra è un concetto che svolge un ruolo centrale nell'ambito dell'analisi costi-benefici sociale rappresentando il valore monetario (costo o beneficio marginale) associato a una particolare decisione o azione. Dal punto di vista economico, il prezzo ombra rappresenta il costo opportunità derivante dall'utilizzo di una risorsa per uno scopo specifico e consente perciò al *policy maker* di operare un confronto tra i costi e i benefici di diverse alternative dando la priorità a progetti o politiche che producono il massimo beneficio netto, massimizzando il benessere sociale.

La quantificazione del costo esterno avviene quindi attraverso metodi di valutazione alternativi, che, in contrapposizione a quanto si verifica sui mercati, i quali tralasciano di considerare gli effetti esterni delle attività economiche, sono in grado di catturare anche i costi sociali non riflessi nei prezzi.

I suddetti metodi, come evidenziato in Tabella 19, si suddividono in:

- metodi diretti in cui l'utilità derivante dalla riduzione di un agente inquinante viene misurata direttamente;
- metodi indiretti in cui tale utilità viene stimata.

Ogni metodo ha pregi e limiti ed in letteratura sono tutti variamente utilizzati.

Tra i metodi indiretti è largamente usato quello dei prezzi edonici in base al quale il valore del bene che non ha un mercato viene inferito sulla base del prezzo di un altro bene il cui valore dipende dalla presenza/assenza del primo.

Una delle declinazioni più comuni di tale approccio, ove lo si voglia utilizzare per determinare il valore della mortalità/morbilità (bene senza mercato), si basa sulle variazioni dei salari (mercato del lavoro) in corrispondenza delle variazioni del rischio che le persone affrontano sul lavoro e, in particolare sulla determinazione indiretta della Disponibilità ad Accettare –DAA una compensazione, in termini di aumento di salario, per l'aumento del rischio corrispondente ad una certa mansione lavorativa.

Se il rischio dipende dall'inquinamento, la differenza tra i salari di due persone esposte a dosi differenti, può essere considerata come *proxy* del differente rischio sulla salute e, dunque, *mutatis mutandis*, come una stima del valore della vita, ovvero come il costo dell'inquinamento o beneficio monetario conseguente alla sua riduzione.

Adottare una simile metodologia comporta però difficoltà rilevanti connesse alla raccolta di una mole notevole di dati relativi a professioni diverse anche nell'ambito di uno stesso settore.

La metodologia ha potenziale applicazione solo per alcuni ambienti chiusi (ad es. industrie) ma non per altri (scuole, mezzi di trasporto, uffici, etc.) ed è possibile che vi sia collinearità tra rischio di morte e rischio di incidente non mortale.

METODI DIRETTI (preferenze espresse/dichiarate)		METODI INDIRETTI (preferenze rivelate)	
<b>PREZZI DI MERCATO</b>	Misurazione delle conseguenze dell'inquinamento in termini di riduzione della produzione di un bene venduto sul mercato (ricavo mancato)	<b>COSTO DI SOSTITUZIONE</b>	Il valore monetario di un bene senza mercato può essere stimato a partire dal prezzo di mercato di un bene o servizio sostituito
<b>VALUTAZIONE CONTINGENTE</b>	Definizione della disponibilità individuale pagare attraverso indagini a campione o simulazioni di mercati (ipotetici)	<b>PREZZI EDONICI</b>	Il valore di un bene viene ricavato dai prezzi di mercato (surrogato) di beni che lo incorporano, isolando con tecniche di regressione multivariata il contributo che l'attributo d'interesse fornisce al prezzo osservato
		<b>SPESE DIFENSIVE/COSTO DEL DANNO</b>	Il valore di un fenomeno viene assunto pari alle spese che vengono fatte per prevenire, mitigare o annullare le sue conseguenze, o stimato a partire dal suo impatto economico

Tabella 19. Metodi di valutazione dei costi esterni

Il valore della vita umana viene più spesso determinato attraverso metodi diretti, ovvero a partire dalla Disponibilità a Pagare (DAP), la cosiddetta *Willingness-to-Pay* (WTP).

In letteratura il valore statistico della vita (*Value of Statistical Life* – VSL) viene considerato come il *trade-off* tra rischio di mortalità e denaro: il VSL è una misurazione che riflette il valore che le persone attribuiscono ai rischi per la propria vita (*variazione marginale della probabilità di morte*) in seguito a una serie di scelte che effettuano nel corso della stessa e si basa sulla rilevazione diretta della *Willingness-to-Pay* (WTP) per ridurre il suddetto rischio così come evidenziato dalla seguente equazione:

$$VSL = \frac{WTP}{\Delta risk}$$

Una critica rivolta al modello VSL, che rappresenta però secondo una corrente di pensiero un metodo più “morale” di altri dato l'inestimabile valore della vita umana in assoluto, è che tende ad attribuire lo stesso valore economico alla vita di persone diverse in termini di età e condizioni e, quindi, di capacità di generare reddito. La vita di una persona molto anziana o

affetta da una patologia che riduce seriamente la sua aspettativa ha, in base a questa metodologia, lo stesso valore di quella di della una persona giovane e in buona salute. La stima è in ogni caso variabile: si va da 2,5 M\$ della Cina a 10 M\$ degli USA (6,5 M\$ in Italia). Il *range* raccomandato per i Paesi dell'OCSE è 1,5 - 4,5 M\$, con un valore base consigliato di 3 M\$.

Il valore di un anno di vita (*Value Of a Life Year - VOLY*) rappresenta il valore monetario degli anni di vita (corretti per la disabilità), ed è dunque una misura di quanto le persone sono disposte a pagare (DAP) per vivere un altro anno (in salute).

Il VLS e il VOLY sono dunque correlati, e quest'ultimo è derivato dal primo attraverso la formula seguente:

$$VSL = \sum_t^T \frac{VOLY}{(1 + r)^t}$$

con:

- **T** = numero degli anni rimanenti da vivere calcolato in base all'età media e all'aspettativa di vita di una data popolazione;
- **r** = tasso di sconto.

All'opposto, il metodo del Capitale Umano determina invece il valore di una vita calcolando il contributo che questa darebbe, se vissuta, alla produzione economica.

La quantificazione del valore deriva dalla stima attualizzata del flusso di reddito che il soggetto percepirebbe negli anni di vita considerando che il suo reddito annuale corrisponde al suo contributo al Prodotto Interno Lordo del paese in cui vive.

Tale contributo può essere determinato:

- *dividendo il Pil* (del paese in cui viene effettuata la valutazione) *per il numero di lavoratori occupati nel paese;*
- *stimando un reddito medio di riferimento nel caso sia nota l'attività del soggetto o del gruppo di soggetti.*

Il metodo più utilizzato è il primo per motivi di:

- *semplicità;*
- *discriminazione* (talune malattie professionali sono tipiche di professioni a cui corrispondono redditi più bassi della media; ci si troverebbe perciò ad avere un valore della vita inferiore a quello determinato come media su tutta la popolazione).

Il metodo del capitale umano è ampiamente utilizzato in molti settori economici e per una pluralità di fini per:

- la sua semplicità di applicazione;
- la concretezza e l'omogeneità delle stime.

Il suo principale limite, al di là di una serie di critiche epistemologiche, consiste nel prescindere dal valore della vita in sé (il valore della vita di un pensionato o di un disoccupato è uguale a zero) riducendolo al solo contributo che un individuo può dare al sistema economico (variabile in base ad età, sesso, professione);

Ciò nonostante, anche considerando che alcuni limiti possono essere (parzialmente) superati (ad es. prendendo in considerazione la retribuzione che i soggetti avrebbero percepito se fossero stati occupati attraverso la stima del *costo opportunità*), ai fini della nostra analisi, il

metodo risulta utile nella misura in cui consente di determinare un «valore/beneficio minimo».

Lo studio dei costi delle malattie (*Cost Of Illness, COI*) risale al secolo scorso e consiste nella quantificazione delle risorse economiche consumate a causa di una malattia.

In economia sanitaria i COI vengono utilizzati per evidenziare l'ordine di rilevanza di diversi problemi sanitari (peso sociale delle malattie) al fine di valutare diverse politiche di intervento e i loro effetti.

L'importanza dei problemi sanitari viene misurata in termini di frequenza (incidenza, prevalenza), gravità (mortalità) e consumo di risorse<sup>48</sup>.

Con tale approccio si procede alla rilevazione sistematica dei costi selezionando un campione "rappresentativo" dall'insieme dei casi oggetto di studio. I dati vengono raccolti secondo due metodologie:

- metodo di incidenza: vengono valutati i costi di un gruppo di casi dalla loro incidenza alla loro "scomparsa" ottenendo così una stima accurata che richiede però la raccolta di una mole significativa di informazioni, tempi più lunghi e conseguentemente costi più lunghi. Viene utilizzato in genere per analizzare i costi di malattie di breve durata e ad incidenza variabile (ad es., malattie infettive);
- il metodo di prevalenza: il costo viene calcolato facendo riferimento ad un preciso istante di tempo, come sommatoria dei costi di tutti i casi in quell'istante senza distinguere lo stadio in cui si trovano.

I costi considerati possono essere:

- diretti:
  - sanitari: attività diagnostica, terapia, ricovero;
  - non sanitari: trasporti, assistenza domestica;
- indiretti:
  - tempo sottratto all'attività lavorativa (pazienti e familiari);
  - riduzione della produttività (pazienti e familiari);
- intangibili: ansia, dolore, isolamento sociale, conflitto familiare.

Le metodologie disponibili per la valorizzazione economica delle esternalità ambientali sono dunque numerose.

Spesso, per via dell'importanza della tematica oggetto di studio, e così come fatto in questo *Report*, nel caso della valorizzazione della morbilità e mortalità da inquinamento atmosferico, si usano combinazioni di metodologie minimizzando in questo modo il rischio di una sottostima.

### **3.2 I costi sociali da inquinamento *indoor* nelle scuole italiane**

La teoria economica insegna come la definizione di una regolazione efficace richieda la quantificazione dei costi e dei benefici associati al fenomeno che ne è oggetto.

---

<sup>48</sup> [https://www.unife.it/medicina/lm.infermieristica/studiare/minisiti/pianificazione\\_gestione\\_proc-edu/modulo-di-pianificazione-delle-risorse-e-negoiazione-budget/aa-2015-2016/elementi-di-valutazione-economica-per-i-professionisti-della-salute](https://www.unife.it/medicina/lm.infermieristica/studiare/minisiti/pianificazione_gestione_proc-edu/modulo-di-pianificazione-delle-risorse-e-negoiazione-budget/aa-2015-2016/elementi-di-valutazione-economica-per-i-professionisti-della-salute)

La valorizzazione del “*burden of disease*” è alla base di importanti decisioni di *policy* quali, ad esempio, quelle relative agli investimenti in sanità pubblica che necessitano di un approccio costo-efficacia per via del vincolo di bilancio a cui le finanze dello stato sono soggette.

Nel caso dell’inquinamento *indoor* attribuire un valore monetario alla mortalità e alla morbilità diviene fondamentale per comprendere su quali fonti/inquinanti/edifici dirigere gli interventi.

Il costo esterno della mortalità e della morbilità (da inquinamento *indoor*) ne rappresenta l’impatto socio-economico, ovvero la quantità di risorse perse dalla società per il suo effetto. Tale costo esterno diventa un beneficio sociale laddove evitato (in tutto o in parte) grazie ad un intervento correttivo (investimento in tecnologia specifica) che presenta esso stesso un costo. Per calcolare il beneficio sociale netto relativo alla riduzione dell’inquinamento è perciò necessario dedurre dal beneficio lordo il costo del summenzionato investimento.

Convenzionalmente il costo socio-economico da inquinamento atmosferico viene distinto in due componenti:

- il costo esterno in senso stretto, che misura il costo opportunità delle risorse allocate per la presenza dell’inquinamento;
- l’impatto sulla finanza pubblica.

Più di preciso il costo totale da inquinamento atmosferico (nel nostro caso *indoor*) si ottiene applicando l’equazione:

**COSTO TOTALE =  $\Delta CE + \Delta G \times (1 + \alpha)$**  con:

- $\Delta CE$  = costo esterno della mortalità e della morbilità + perdita di produzione in €
- $\Delta G$  = costi pubblici di finanziamento in €
- $(1 + \alpha)$  = un fattore correttivo perché 1 € di soldi pubblici spesi in realtà corrisponde ad una perdita nelle pubbliche finanze di  $1 + \alpha$ .

Il costo esterno in senso stretto è dato dalla somma di tre componenti:

- numero di morti (o, meglio, numero di anni persi per effetto delle morti) moltiplicato per i VOLY attualizzati =  $n_d \times \sum \text{VOLY}/(1+r)^t$
- numero di malati (o, meglio, numero di anni vissuti in disabilità per effetto della malattia) moltiplicato per i VOLY attualizzati e per un fattore  $\delta$  che indica il deterioramento nella qualità della vita (*DW – Disability Weight*) =  $n_c \times \sum \delta * \text{VOLY}/(1+r)^t$ ;
- PIL pro capite moltiplicato per il numero di anni di vita persi da ciascun soggetto in età produttiva.

Per il calcolo dell’impatto sulla finanza pubblica si considerano in genere due componenti:

- i costi relativi alla spesa sanitaria (*cost-of-illness approach*);
- le pensioni non erogate.

Per quanto riguarda la prima componente è possibile reperire il costo/paziente/anno per patologia nella letteratura economica sanitaria nazionale e internazionale;

Per le pensioni è possibile effettuare la stima sulla base della professione svolta (ove disponibile) e sui dati di contabilità nazionale (ISTAT);

L’impatto sulla finanza pubblica è dato dalla somma algebrica tra la spesa sanitaria (+) e le pensioni evitate (-).

Il valore del VOLY è altamente eterogeneo in base alla metodologia utilizzata per la sua stima e al mercato geografico di riferimento.

Per arrivare ad una quantificazione si è fatto ricorso ad una meta-analisi basata sulla rassegna critica degli studi esistenti sul tema così come fatto in Schlander et al (2017).

Sono stati in particolare considerati gli studi presenti su EconLit<sup>49</sup> (oltre 900) e sono stati eliminati quelli che:

- si presentano come duplicati (stesso autore e diversa rivista/diverso anno; rassegne di altri studi esistenti);
- non contengono una stima univoca del VSL/VOLY;
- sono stati pubblicati anteriormente al 2010;
- si riferiscono a stati extra-Ue (inclusi invece quelli riferiti a UK e Svizzera).

Gli studi restanti dopo la scrematura e da noi considerati sono 50 e utilizzano varie metodologie per la quantificazione del VOLY:

- approccio basato sul capitale umano (24);
- preferenze rivelate (14);
- preferenze dichiarate - *contingent valuation* (12).

Per il valore statistico della vita umana si va da un minimo di 2,9 M€ ad un massimo di 6,5 M€. Ai fini della nostra analisi abbiamo considerato un valore medio di 4,7 M€ da cui è possibile ricavare un valore medio del VOLY di circa 210.000 euro, un ammontare pari a circa 10 volte il PIL pro-capite italiano.

Per la stima dei costi sociali da inquinamento atmosferico *indoor* è stato necessario considerare altre variabili così come evidenziato in Tabella 20. Le fonti utilizzate sono specificate nella seconda colonna.

<b>VARIABILE</b>	<b>FONTI</b>	<b>VALORE</b>
<b>YLL</b>	<i>Università Bicocca</i>	Scenari vari scuola primaria PM <sub>10</sub>
<b>YLD</b>	<i>Università Bicocca</i>	Scenari vari scuola primaria PM <sub>2,5</sub>
<b>VOLY</b>	<i>analisi di 50 studi effettuati in università europee e calcolo del valor medio</i>	209.424 €
<b>DW medio per le tre patologie considerate</b>	<i>OMS</i>	0,2855
<b>Spesa sanitaria media €/paziente/anno (solo costi diretti)</b>	<i>Dal Negro, 2019 (COPD); FAVO, 2018 (cancro polmone); Townsend, 2015 (MCV).</i>	32.049 €
<b>Pensione media italiana annuale</b>	<i>ISTAT</i>	14.150 €
<b>Tasso medio occupazione Italia</b>	<i>ISTAT</i>	61,8%

Tabella 20. Le variabili considerate

<sup>49</sup> <https://www.aeaweb.org/econlit/>

### 3.2.1 I costi sociali da inquinamento *indoor* da particolato nella scuola primaria italiana

Per la stima relativa ai costi sociali della mortalità e morbilità da inquinamento *indoor* nella scuola elementare si sono considerati tre casi studio a cui corrispondono diverse concentrazioni inquinanti.

Nello specifico l'attenzione è stata focalizzata sul PM<sub>10</sub> che è l'inquinante con l'impatto di gran lunga maggiore rispetto ad altri ed il dato preso in considerazione è sempre quello medio.

Le tre scuole primarie considerate presentano delle concentrazioni differenti e rispettivamente pari a 134, 168 e 247 PM (µg m<sup>-3</sup>).

		alunni	insegnanti	TOTALE	incidenza %	incidenza % sul PIL 2023 (2085376 M€)
<b>COSTI ESTERNI</b>						
mortalità prematura	+	65734	3751	69485	91,46	3,33
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	3685	541	4226	5,56	0,20
perdita di produttività	+	0	0	0	0,00	0,00
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>69418</b>	<b>4292</b>	<b>73711</b>	<b>97,02</b>	<b>3,53</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>						
spesa sanitaria	+	1975	290	2265	2,98	0,11
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>1975</b>	<b>290</b>	<b>2265</b>	<b>2,98</b>	<b>0,11</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>71393</b>	<b>4582</b>	<b>75976</b>	<b>100,00</b>	<b>3,64</b>
pensioni non pagate	-	2745	253	2998		
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>68649</b>	<b>4329</b>	<b>72978</b>		<b>3,50</b>

Tabella 21. Costi sociali della mortalità e della morbilità da inquinamento *indoor* da PM<sub>10</sub> nelle scuole primarie italiane (M€) – caso upper

Sulla base delle diverse concentrazioni sono stati elaborati 3 scenari: *lower*, *mean* e *upper*.

Più in particolare, si è proceduto al calcolo dei costi sociali relativi ad ogni singola scuola e si è successivamente calcolato il valore economico del "burden of disease" a livello nazionale ipotizzando che le concentrazioni della singola struttura siano le medesime su tutto il territorio italiano.

Le popolazioni considerate sono due. La prima è quella relativa agli studenti, pari a 2.260.929 unità. La seconda è quella degli insegnanti e conta 250.202 soggetti.

Il costo sociale totale è stato ottenuto come somma algebrica dei costi esterni da mortalità prematura, di quelli relativi alla morbilità, della spesa pubblica inerente i necessari trattamenti sanitari e delle pensioni non pagate a seguito della riduzione dell'aspettativa di vita conseguente l'esposizione all'inquinamento *indoor* da polveri sottili.

Essendo i ricettori soggetti giovani (bambini di età compresa tra 5 e 10 anni e insegnanti in età lavorativa) ed essendo i DALY unitari annui rappresentati da frazioni di anno, considerando l'aspettativa di vita media in Italia, non è conteggiata alcuna perdita di produttività nella forma di mancata contribuzione al PIL.

Nell'ambito dei costi a carico della spesa pubblica alcuni studi considerano anche i costi di ricerca e sviluppo (R&D) relativi al tema oggetto di studio. Essendo questi ultimi di difficile determinazione, e non avendo effetti significativi sull'ordine di grandezza dell'onere complessivo, tale componente è stata tralasciata.

In questa fase si è anche ritenuto di non tenere conto del parametro  $\alpha^{50}$  per il quale le stime in letteratura sono pochissime e mai riferite all'Italia.

		alunni	insegnanti	TOTALE	incidenza %	incidenza % sul PIL 2023 (2085376 M€)
<b>COSTI ESTERNI</b>						
mortalità prematura	+	44745	2553	47298	91,46	2,27
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	2508	368	2877	5,56	0,14
perdita di produttività	+	0	0	0	0,00	0,00
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>47253</b>	<b>2922</b>	<b>50175</b>	<b>97,02</b>	<b>2,41</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>						
spesa sanitaria	+	1344	197	1542	2,98	0,07
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>1344</b>	<b>197</b>	<b>1542</b>	<b>2,98</b>	<b>0,07</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>48597</b>	<b>3119</b>	<b>51717</b>	<b>100,00</b>	<b>2,48</b>
pensioni non pagate	-	1868	173	2041		
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>46729</b>	<b>2947</b>	<b>49676</b>		<b>2,38</b>

Tabella 22. Costi sociali della mortalità e della morbilità da inquinamento indoor da PM10 nelle scuole primarie italiane (M€) – caso mean

I costi sociali da inquinamento atmosferico *indoor* da PM<sub>10</sub> nella scuola primaria italiana possono essere stimati come compresi tra 40 e 73 G€/anno a seconda dello scenario considerato.

		alunni	insegnanti	TOTALE	incidenza %	incidenza % sul PIL 2023 (2085376 M€)
<b>COSTI ESTERNI</b>						
mortalità prematura	+	35562	2029	37591	91,46	1,80
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	1993	293	2286	5,56	0,11
perdita di produttività	+	0	0	0	0,00	0,00
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>37555</b>	<b>2322</b>	<b>39877</b>	<b>97,02</b>	<b>1,91</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>						
spesa sanitaria	+	1069	157	1225	2,98	0,06
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>1069</b>	<b>157</b>	<b>1225</b>	<b>2,98</b>	<b>0,06</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>38624</b>	<b>2479</b>	<b>41103</b>	<b>100,00</b>	<b>1,97</b>
pensioni non pagate	-	1485	137	1622		
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>37139</b>	<b>2342</b>	<b>39481</b>		<b>1,89</b>

Tabella 23. Costi sociali della mortalità e della morbilità da inquinamento indoor da PM10 nelle scuole primarie italiane (M€) – caso lower

Tale costo ha un'incidenza rilevante sul PIL compresa tra l'1,9 e il 3,5%: i costi relativi alla mortalità e alla morbilità rappresentano la parte preponderante del costo totale con un peso pari al 97%. I costi relativi alla mortalità sono quelli superiori in assoluto con un peso pari al 92%.

La spesa pubblica costituisce il 3%.

<sup>50</sup> Si veda *supra*, § 3.1

E' sufficiente ridurre le concentrazioni del 46% (da caso *upper* a caso *lower*) e del 32% (da caso *mean* a caso *lower*) per ottenere delle riduzioni corrispondenti nel carico economico sociale. E' necessario tenere come la stima presentata sia parziale per varie ragioni:

- sono stati considerati solo gli impatti relativi al PM;
- non sono state considerate alcune categorie di costo:
  - perdita di produttività da disabilità, cd «*sick leave*»;
  - costi sanitari indiretti;
  - costi di R&D.
- il valore assunto per il VOLY è quello medio (corrispondente alla media dei valori riportati negli studi analizzati).

### 3.2.2 I costi sociali da inquinamento *indoor* da particolato nella scuola secondaria di primo grado italiana

Nel caso delle scuole secondarie si è proceduto in analogia con quanto effettuato a proposito della scuola primaria.

		alunni	insegnanti	TOTALE	incidenza %	incidenza % su PIL 2023 (2085376)
<b>COSTI ESTERNI</b>						
mortalità prematura	+	34489	952	35441	95,02	1,70
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	1052	157	1209	3,24	0,06
perdita di produttività	+	0	0	0	0,00	0,00
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>35541</b>	<b>1109</b>	<b>36650</b>	<b>98,26</b>	<b>1,76</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>						
spesa sanitaria	+	564	84	648	1,74	0,03
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>564</b>	<b>84</b>	<b>648</b>	<b>1,74</b>	<b>0,03</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>36105</b>	<b>1193</b>	<b>37298</b>	<b>100,00</b>	<b>1,79</b>
pensioni non pagate	-	1440	64	1504		
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>34665</b>	<b>1129</b>	<b>35794</b>		<b>1,72</b>

Tabella 24. Costi sociali della mortalità e della morbilità da inquinamento *indoor* da PM10 nelle scuole secondarie italiane (M€) – caso *upper*

Si è cioè dapprima fatto riferimento ad una scuola ubicata nel nord Italia e, successivamente, si è proceduto al calcolo del valore economico del “*burden of disease*” a livello nazionale ipotizzando che le concentrazioni della singola struttura siano le medesime su tutto il territorio italiano.

Mentre nel caso delle scuole primarie i tre scenari sono stati elaborati a partire dalle tre concentrazioni medie relative ad ognuna delle strutture considerate<sup>51</sup>, nel caso della scuola secondaria sono stati ricavati tre scenari (*upper*, *mean* e *lower*) tenendo conto delle concentrazioni minime, massime e medie relative alla medesima struttura.

Anche in questo caso le popolazioni considerate sono due. La prima è quella relativa agli studenti di età compresa tra 10 e 14 anni, pari a 1.557.403 individui. La seconda è quella degli insegnanti e conta 77.870 soggetti.

<sup>51</sup> Per ciascuna delle quali è stato possibile rilevare la concentrazione minima, massima e media.

		alunni	insegnanti	TOTALE	incidenza %	incidenza % su PIL 2023 (2085376)
<b>COSTI ESTERNI</b>						
mortalità prematura	+	22878	632	23510	95,94	1,13
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	556	91	648	2,64	0,03
perdita di produttività	+	0	0	0	0,00	0,00
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>23435</b>	<b>723</b>	<b>24157</b>	<b>98,58</b>	<b>1,16</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>						
spesa sanitaria	+	298	49	347	1,42	0,02
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>298</b>	<b>489</b>	<b>347</b>	<b>1,42</b>	<b>0,02</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>23733</b>	<b>772</b>	<b>24504</b>	<b>100,00</b>	<b>1,18</b>
pensioni non pagate	-	955	132	1087		
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>22778</b>	<b>640</b>	<b>23417</b>		<b>1,12</b>

Tabella 25. Costi sociali della mortalità e della morbidità da inquinamento indoor da PM10 nelle scuole secondarie italiane (M€) – caso mean

I costi sociali da inquinamento *indoor* nelle scuole medie italiane risultano, sulla base delle ipotesi formulate e precedentemente descritte, compresi tra gli 11,5 miliardi di euro dello scenario *lower* e i 35,8 miliardi di euro dello scenario *upper*.

Anche in questo caso la componente relativa ai costi esterni in senso stretto rappresenta la porzione maggiore compresa tra il 95 e il 97% del totale.

		alunni	insegnanti	TOTALE	incidenza %	incidenza % sul PIL 2023 (2085376 M€)
<b>COSTI ESTERNI</b>						
mortalità prematura	+	11268	311	11579	96,75	0,56
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	216	37	253	2,11	0,01
perdita di produttività	+	0	0	0	0,00	0,00
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>11484</b>	<b>348</b>	<b>11832</b>	<b>98,87</b>	<b>0,57</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>						
spesa sanitaria	+	116	20	136	1,13	0,01
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>116</b>	<b>20</b>	<b>136</b>	<b>1,13</b>	<b>0,01</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>11599</b>	<b>368</b>	<b>11968</b>	<b>100,00</b>	<b>0,57</b>
pensioni non pagate	-	470	21	492		
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>11129</b>	<b>347</b>	<b>11476</b>		<b>0,55</b>

Tabella 26. Costi sociali della mortalità e della morbidità da inquinamento indoor da PM10 nelle scuole secondarie italiane (M€) – caso lower

I costi sociali complessivi al netto delle pensioni non erogate hanno ancora una volta un'incidenza significativa sul PIL compresa tra lo 0,55 e l'1,72%.

Considerando il peso dei costi sociali nella scuola primaria calcolato al paragrafo precedente è possibile stimare che i summenzionati costi da inquinamento *indoor* nella scuola primaria e secondaria di primo grado in Italia bruciano ogni anno risorse comprese tra il 2,45% e il 5,22% del prodotto interno lordo nazionale.

E' necessario, per onestà intellettuale prima ancora che scientifica, sottolineare come i valori ottenuti risentano strettamente delle assunzioni fatte.

Le scuole del Nord Italia potrebbero essere scarsamente rappresentative di scuole ubicate in altre zone della penisola dal momento che, spostandosi verso Sud, al cambiare delle condizioni climatiche e dei consumi energetici, si modificano anche i livelli di inquinamento.

Allo stesso modo, gli istituti scolastici considerati potrebbero essere dotati di impianti HVAC più efficaci laddove molte scuole del sud potrebbero esserne addirittura sprovviste.

Resta il fatto che, se anche i costi effettivi dovessero corrispondere all'estremo inferiore dell'intervallo di incidenza percentuale sul PIL osservato, saremmo di fronte ad un onere colossale posto a carico della collettività.

### **3.3 I costi sociali dell'inquinamento *indoor* da particolato negli ospedali**

La qualità dell'aria negli ospedali costituisce un problema tristemente noto nella misura in cui ad essa sono legati i rischi di diffusione di infezioni trasmesse per via area all'interno dei nosocomi, così come evidenziato dallo studio condotto su oltre 60.000 pazienti ricoverati in 35 ospedali dall'Istituto Superiore di Sanità nel 2022.<sup>52</sup>

Negli ambienti di cura, oltre a quella succitata, si pone anche la questione degli effetti avversi sulla salute in caso di eccessive concentrazioni inquinanti, i cui impatti possono essere aggravati dalle condizioni in cui versano soggetti già vulnerabili.

Anche in questo caso, l'attenzione è stata focalizzata sui costi esterni da particolato.

Per ottenere un ordine di grandezza dei costi sociali da inquinamento *indoor* nelle strutture ospedaliere si è fatto riferimento alla campagna di rilevazione diretta effettuata dall'Università Bicocca presso un ospedale Lombardo tra il 2019 e il 2020.

L'analisi ha riguardato i piani da 3 a 11 della struttura per un totale di 255 degenti affetti da diverse patologie<sup>53</sup>.

I costi sono stati determinati utilizzando le medesime variabili e scontando le stesse ipotesi viste a proposito delle scuole primarie e secondarie.

Per ogni piano e ogni corrispondente numero di degenti sono state considerate le concentrazioni di polveri sottili e i relativi impatti in termini di YLL e YLD.

Anche nel caso dell'ospedale in questione sono stati valutati i costi esterni in senso stretto, ovvero quelli relativi alla mortalità prematura e alla perdita di qualità della vita vissuta in disabilità, mentre, trattandosi di una riduzione dell'aspettativa di vita media individuale dell'ordine di mesi/individuo, non si è valutata alcuna perdita di produttività.

Per quanto concerne la spesa pubblica si è proceduto al conteggio delle spese sanitarie conseguenti agli anni vissuti in disabilità e delle pensioni non erogate per effetto della morte prematura.

---

<sup>52</sup> <https://www.epicentro.iss.it/sorveglianza-ica/pdf/Summary%20report%20PPS3.pdf>

<sup>53</sup> Per i dettagli inerenti le modalità di rilevazione e le concentrazioni si veda supra, Capitolo 2.

		PIANO 3	PIANO 4	PIANO 5	PIANO 7	PIANO 8	PIANO 9	PIANO 10	PIANO 11	TOTALE
<b>degenze</b>		<b>23</b>	<b>48</b>	<b>44</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>34</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>255</b>
<b>COSTI ESTERNI</b>										
mortalità prematura	+	8377	15497	19058	7958	9215	6911	11728	6073	84817
morbilità (perdita di qualità della vita)	+	1136	21525	2631	1136	1315	957	1614	837	31151
perdita di produttività	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTALE COSTI ESTERNI</b>		<b>9513</b>	<b>37022</b>	<b>21688</b>	<b>9094</b>	<b>10530</b>	<b>7868</b>	<b>13342</b>	<b>6910</b>	<b>115968</b>
<b>SPESA PUBBLICA</b>										
spesa sanitaria	+	609	11538	1410	609	705	513	865	449	16698
spesa di R&D	+	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>TOTALE SPESA PUBBLICA</b>		<b>609</b>	<b>11538</b>	<b>1410</b>	<b>609</b>	<b>705</b>	<b>513</b>	<b>865</b>	<b>449</b>	<b>16698</b>
<b>COSTO TOTALE</b>		<b>10122</b>	<b>48560</b>	<b>23099</b>	<b>9703</b>	<b>11235</b>	<b>8380</b>	<b>14207</b>	<b>7359</b>	<b>132665</b>
pensioni non pagate	-	350	647	796	332	385	289	490	254	3542
<b>COSTO TOTALE al netto delle pensioni non erogate</b>		<b>9772</b>	<b>47913</b>	<b>22303</b>	<b>9371</b>	<b>10850</b>	<b>8092</b>	<b>13718</b>	<b>7105</b>	<b>129124</b>

Tabella 27. I costi sociali dell'inquinamento indoor in un ospedale lombardo

Dall'analisi risulta che i costi sociali complessivi su 255 degenze sono pari a oltre 129.000 euro annui.

Secondo l'Annuario Statistico del Servizio Sanitario Nazionale ISTAT 2022<sup>54</sup> esistono ad oggi nel nostro paese 996 ospedali tra strutture pubbliche (511) e private accreditate.

Esse contano complessivamente 223.959 posti di degenza per una media di 225 posti letto a struttura, una dimensione comparabile con quella dell'ospedale da noi considerato come *benchmark*.

Pur non essendo possibile determinare con precisione il costo sociale da inquinamento interno negli ospedali italiani per via delle specificità tecniche, tecnologiche, strutturali, specialistiche, dimensionali, individuali e clinico-sanitarie delle numerose strutture sparse sul territorio, e con l'intento di arrivare ad una semplice stima del possibile ordine di grandezza dei summenzionati costi annuali, si è proceduto come segue:

- si è ipotizzato, vista la sostanziale corrispondenza del numero nazionale medio di posti letti con quello dell'ospedale considerato, che sia plausibile assumere tale dimensione per tutte le 996 strutture ospedaliere esistenti in Italia;
- si è ipotizzato che le concentrazioni di polveri sottili rilevate nell'ospedale caso studio possano essere utilizzate come *proxy* di quelle medie nazionali;
- si sono perciò conteggiati i medesimi costi sociali per tutte le strutture esistenti.

In tale modo si arriverebbero a stimare costi sociali da inquinamento *indoor* da particolato negli ospedali italiani per un ammontare annuo superiore a 128 M€.

Se si dovessero però prendere in considerazione le oltre 28.000 strutture assistenziali esistenti sul territorio (assistenza ambulatoriale, territoriale residenziale e semiresidenziale, assistenza riabilitativa), facendo le debite assunzioni, i costi stimati potrebbero facilmente aumentare di un ordine di grandezza con un'incidenza molto più rilevante sul PIL.

Anche in questo caso si tratta di una cifra ragionevolmente sottostimata per una serie di ragioni:

<sup>54</sup> [https://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_pubblicazioni\\_3425\\_allegato.pdf](https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_3425_allegato.pdf)

- la valutazione è stata fatta con esclusivo riferimento ai degenti escludendo il personale dipendente;
- i costi sono stati stimati a partire dai DALY generati dal solo inquinamento da particolato atmosferico;
- i costi sono stati quantificati a partire dalle concentrazioni medie del summenzionato inquinante: laddove fossero presi in considerazione i valori superiori dell'intervallo considerato essi andrebbero moltiplicati per un fattore pari a circa 6;
- dal computo sono state escluse tutte le strutture ospedaliere non accreditate (circa 600) e tutte le residenze per anziani, per lungo degenti e quelle adibite alle prestazioni ambulatoriali o assistenziali diurne.

#### 4. CONCLUSIONI

I costi che la società è costretta a sopportare per via della scarsa qualità dell'aria nelle scuole elementari e medie e negli ospedali italiani sono enormi e rappresentano una percentuale significativa del PIL.

Tali costi possono però diventare, almeno parzialmente, dei benefici altrettanto significativi laddove evitati.

Per il loro contenimento è necessaria la definizione di una regolazione efficace che tenga conto dei suddetti costi e benefici.

La revisione delle Linee Guida dell'OMS che si riferiscono anche agli ambienti chiusi, quella della Direttiva Quadro sulla qualità dell'aria e l'emanazione della Direttiva sull'Efficienza Energetica degli Edifici che attribuisce centralità alla qualità degli ambienti interni e all'aria che in essi si respira nell'ambito del processo di de-carbonizzazione del parco edilizio europeo, gettano inequivocabilmente i prodromi di tale regolazione.

Il fatto che poi, a partire da quest'anno e a valere sull'esercizio finanziario 2024, le imprese siano obbligate a fare *reporting* sulle loro prestazioni in ambito ESG, costituisce una leva senza precedenti per incrementare, da un lato, l'impegno delle aziende sul fronte della IAQ e la consapevolezza di lavoratori e consumatori dall'altro.

In un'era sempre più orientata alla sostenibilità di tipo ambientale e sociale le imprese che saranno in grado di garantire elevati *standard* di qualità dell'aria negli ambienti in cui vengono venduti/erogati i beni/servizi prodotti, siano essi di tipo assistenziale o medico, di intrattenimento, di trasporto (compreso quello turistico), o di altro genere, saranno premiate dai mercati, inclusi quelli finanziari, con importanti ricadute dal punto di vista economico.

E' nel contesto delineato che il tema della IAQ merita di essere affrontato in un ambito sia istituzionale che accademico e industriale al fine di alimentare un confronto che consenta di sviluppare una *policy* pragmatica, condivisa ed incisiva, in grado di abbattere i costi sociali e garantire migliori condizioni di vita e benessere all'interno degli ambienti di comunità.

La portata di tale esigenza deve essere valutata considerando che i costi da noi stimati si riferiscono solo a scuole (elementari e medie) e ospedali, nonché esclusivamente agli impatti da PM<sub>x</sub> e che, quindi, l'onere sociale dell'inquinamento *indoor* è di gran lunga superiore rispetto a quanto ipotizzato.

L'obiettivo di OQAI è sin qui stato e continuerà ad essere proprio quello di favorire il summenzionato confronto supportandolo con i risultati della propria attività di ricerca, e con la loro disseminazione, al fine di contribuire al processo di *policy making in itinere*.

A tale fine, nell'ambito dell'attività prevista per il biennio 2025-2026, l'Osservatorio si propone di quantificare i costi sociali dell'inquinamento *indoor* relativi a tutti gli ambienti interni menzionati nel presente *Report*, ciascuno caratterizzato dalle proprie specificità di tipo tecnico ed economico, e quelli relativi all'installazione e manutenzione degli impianti di trattamento dell'aria sulla base delle BAT con l'obiettivo di determinare il beneficio sociale netto che sarebbe possibile ottenere grazie al miglioramento della IAQ.

## BIBLIOGRAFIA

Bateson TF, Schwartz J., Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality? A case-crossover analysis of effect modifiers. *Epidemiology*, Volume 15, Number 2. 2004.

Baud, D., Qi, X., Nielsen-Saines, K., Musso, D., Pomar, L. and Favre, G.: Real estimates of mortality following COVID-19 infection, *The Lancet Infectious Diseases*, 20(7), 773, doi:10.1016/S1473-3099(20)30195-X, 2020.

Becker, S. G., *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*, The University of Chicago press, 1994.

Chavanaves, S., Fantke, P., Limpaseni, W., Attavanich, W., Panyametheekul, S., Gheewala, S.H., Prapasongsa, T., 2021. Health impacts and costs of fine particulate matter formation from road transport in Bangkok Metropolitan Region. *Atmospheric Pollution Research* 12, 101191. doi:10.1016/j.apr.2021.101191.

Devleeschauwer, B., Havelaar, A.H., Maertens De Noordhout, C., Haagsma, J.A., Praet, N., Dorny, P., Duchateau, L., Torgerson, P.R., Van Oyen, H., Speybroeck, N., 2014. DALY calculation in practice: A stepwise approach. *International Journal of Public Health* 59, 571–574. doi:10.1007/s00038-014-0553-y

Drummond, M. (1992) Cost-of-Illness Studies: A Major Headache? *Pharmacoeconomics*, 2, 1-4. <https://doi.org/10.2165/00019053-199202010-00001>

Ferrero, L., Sangiorgi, G., Ferrini, B.S., Perrone, M.G., Moscatelli, M., D'Angelo, L., Rovelli, G., Ariatta, A., Truccolo, R., Bolzacchini, E., 2013. Aerosol corrosion prevention and energy-saving strategies in the design of green data centers. *Environmental science & technology* 47, 3856–64. doi:10.1021/es304790f

Friedrich, R., Bickel, P. (2001). *The Impact Pathway Methodology*. In: Friedrich, R., Bickel, P. (eds) *Environmental External Costs of Transport*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-04329-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04329-5_2)

Gronlund, C.J., Humbert, S., Shaked, S., O'Neill, M.S., Jolliet, O., 2015. Characterizing the burden of disease of particulate matter for life cycle impact assessment. *Air Quality, Atmosphere and Health* 8, 29–46. doi:10.1007/s11869-014-0283-6

Guillaume Boulanger, Thomas Bayeux, Corinne Mandin, Séverine Kirchner, Benoit Vergriette, Valérie Pernelet-Joly, Pierre Kopp, Socio-economic costs of indoor air pollution: A tentative estimation for some pollutants of health interest in France, *Environment International*, Volume 104, 2017, Pages 14-24, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.03.025>.

Kim Y.M., Kim J.W., Lee H.J.: Burden of disease attributable to air pollutants from municipal solid waste incinerators in Seoul, Korea: A source-specific approach for environmental burden of disease. *Science of the Total Environment*, 409: 2019-2028. 2011.

Kniesner, Thomas J. and Viscusi, W. Kip, The Value of a Statistical Life (April 10, 2019). Forthcoming, *Oxford Research Encyclopedia of Economics and Finance*, Vanderbilt Law Research Paper No. 19-15, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3379967> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3379967>

Logue, J. M., Price, P. N., Sherman, M. H. and Singer, B. C.: A method to estimate the chronic health impact of air pollutants in U.S. residences, *Environmental Health Perspectives*, 120(2), 216–222, doi:10.1289/ehp.1104035, 2012.

Marcon, A., Pesce, G., Girardi, P., Marchetti, P., Blengio, G., de Zolt Sappadina, S., Falcone, S., Frapporti, G., Predicatori, F., de Marco, R., 2014. Association between PM10 concentrations and school absences in proximity of a cement plant in northern Italy. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 217, 386–391. doi:10.1016/j.ijheh.2013.07.016

Murray CJL and Lopez AD, *The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries and risk factors in 1990 and projected to 2020*. Harvard University Press, Cambridge. 1996.

Nazaroff W.W. (2004). Indoor particle dynamics, *Indoor Air*; 14 (Suppl 7): 175–183.

Porter, Michael E. (1985). *Competitive Advantage*. Free Press. ISBN 0-684-84146-0.

Quinet, E., Baumstark, L., Bonnet, J., Croq, A., Ducos, G., Meunier, D., Rigard-Cerison, A., Roquigny, Q., 2013. L'évaluation socio-économique des investissements publics. Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective, Paris.

Ragas Ad M.J., Oldenkamp R., Preeker N.L., Wernicke J., Schlink U.: Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. *Environment International* 37: 872-881. 2011.

Rovelli, S., Cattaneo, A., Nuzzi, C.P., Spinazzè, A., Piazza, S., Carrer, P., Cavallo, D.M., 2014. Airborne particulate matter in school classrooms of northern Italy. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11, 1398–1421. doi:10.3390/ijerph110201398

Ruggieri, S., Longo, V., Perrino, C., Canepari, S., Drago, G., L'Abbate, L., Balzan, M., Cuttitta, G., Scaccianoce, G., Minardi, R., Viegi, G., Cibella, F., Bilocca, D., Borg, C., Montefort, S., Zammit, C., Bucchieri, S., Colombo, P., Ferrante, G., La Grutta, S., Melis, M.R., Piva, G., Ristagno, R., Rizzo, G., 2019. Indoor air quality in schools of a highly polluted south Mediterranean area. *Indoor Air* 29, 276–290. doi:10.1111/ina.12529

Salomon JA, Vos T, Hogan DR et al., Common values in assessing health outcomes from disease and injury: disability weights measurement study for the global burden of disease study 2010. *Lancet* 380:2129–2143. 2013.

Schlender M, Schaefer R, Schwarz O. OP95 An Update On The Economic Value Of A Statistical Life Year In Europe. International Journal of Technology Assessment in Health Care. 2017;33(S1):44-44. doi:10.1017/S0266462317001684

Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N.: Atmos. Chem. Phys. – From air pollution to climate change. Wiley-Interscience edition, second edition, 2006.

Shimada, M., Okuyama, K., Okazaki, S., Asai, T., Matsukura, M. and Ishizu, Y. (1996) Numerical simulation and experiment on the transport of fine particles in a ventilated room, Aerosological Science and Technology, 25, 242–255.

Stouthard Marlies E.A., Essink-Bot Marie-Louise, Bonsel Gouke J.: Disability weights for diseases: a modified protocol and results for a Western European region. Eur J Public Health 10: 24–30. 2000.

Viscusi, W. Kip, Identifying the Legitimate Role of the Value of a Statistical Life in Legal Contexts (July 25, 2019). Forthcoming, Journal of Legal Economics, Vanderbilt Law Research Paper No. 19-23 (2019), Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3426763>

[https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_it](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it)

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/IP\\_18\\_1404](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/IP_18_1404)

[https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)

[https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality_en)

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0542&qid=1668771169224>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0107>; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0095>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2464>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0095>

[https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting\\_en](https://finance.ec.europa.eu/capital-markets-union-and-financial-markets/company-reporting-and-auditing/company-reporting/corporate-sustainability-reporting_en)

[https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/sustainable-finance-disclosures-regulation\\_en](https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/sustainable-finance-disclosures-regulation_en)

<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345334/9789240034433-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/4beb6973-83f8-49a9-a6c8-d31a6d75a247>

<https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/b2b86b52-4f18-4b4e-a134-b1c81ad8a1b2>

<https://www.aeaweb.org/econlit/>

<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/#:~:text=La%20visione%20del%20Green%20Deal,nella%20natura%20e%20negli%20eco sistemi.>

<https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2024>

<https://www.epicentro.iss.it/sorveglianza-ica/pdf/Summary%20report%20PPS3.pdf>

<https://www.ier.uni-stuttgart.de/en/research/projects/externe/>

[https://www.salute.gov.it/imgs/C\\_17\\_pubblicazioni\\_3425\\_allegato.pdf](https://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pubblicazioni_3425_allegato.pdf)

[https://www.unife.it/medicina/Im.infermieristica/studiare/minisiti/pianificazione\\_gestione\\_proc-edu/modulo-di-pianificazione-delle-risorse-e-negoziazione-budget/aa-2015-2016/elementi-di-valutazione-economica-per-i-professionisti-della-salute](https://www.unife.it/medicina/Im.infermieristica/studiare/minisiti/pianificazione_gestione_proc-edu/modulo-di-pianificazione-delle-risorse-e-negoziazione-budget/aa-2015-2016/elementi-di-valutazione-economica-per-i-professionisti-della-salute)

<https://www.vegaengineering.com/wp-content/uploads/2024/03/D-Lgs-81-2008-e-smi.pdf>



**OQAI**

**Clean your Indoor**

Osservatorio Qualità Aria *Indoor* – OQAI:

<https://green.unibocconi.eu/research/observatories/observatory-indoor-air-quality>