



**Università
Bocconi**

GREEN

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



OSSERVATORIO QUALITA' DELL'ARIA INDOOR – OQAI

**Gli impatti economici e le strategie di contenimento dell'inquinamento
indoor: verso una definizione normativa**

Progetto cooperativo di ricerca tra l'Università Bicocca e l'Università Bocconi

Gennaio 2024



OQAI

Clean your Indoor

INDICE

ABSTRACT: i fondamenti e gli obiettivi del progetto

- 1. Premessa**
- 2. Il contesto di ricerca**
- 3. Il progetto**
 - 3.1 Perimetro e obiettivi**
 - 3.2 La struttura del progetto**
- 4. Organizzazione e svolgimento dell'attività di ricerca**

ABSTRACT: i fondamenti e gli obiettivi del progetto

Il tema della qualità dell'aria indoor (*Indoor Air Quality* – IAQ) fino ad oggi scarsamente trattato, sia a livello politico che accademico, è tornato prepotentemente in auge a seguito della pandemia e delle evidenze fornite da numerosi studi scientifici¹ secondo cui elevate concentrazioni di particolato atmosferico contribuiscono alla diffusione del virus SARS-CoV-2.

Dello stesso avviso è l'Organizzazione Mondiale della Sanità che, di recente², dopo 16 anni dalla prima emanazione, ha pubblicato le nuove Linee Guida sulla Qualità dell'Aria³, rivedendo al ribasso le concentrazioni degli inquinanti, e specificando come i valori si riferiscano anche agli ambienti confinati dove le persone trascorrono oltre il 90% della loro esistenza.

E' in una altrettanto recente Risoluzione⁴ che il Parlamento Europeo ha espressamente chiesto alla Commissione di regolare la qualità dell'aria *indoor*, sottolineando la carenza e frammentarietà dell'attuale legislazione sul tema e l'impellente necessità di predisporre efficaci sistemi di incentivazione per la sostituzione degli impianti aerulici negli edifici.

Internalizzando le istanze del Parlamento, la nuova Direttiva sulla *performance* energetica degli edifici⁵ rappresenta una pietra miliare nella regolamentazione della qualità dell'aria *indoor* obbligando gli Stati Membri a introdurre norme finalizzate al mantenimento di un clima salubre all'interno degli edifici.

La IAQ, oltre a rappresentare un problema di salute, ha considerevoli impatti economici.

Si calcola infatti che ogni anno, nell'Unione Europea, vadano persi alcuni milioni di anni di vita in salute per via della scarsa qualità dell'aria *indoor*⁶ causando una significativa perdita di produttività per il sistema economico e generando enormi costi per la pubblica sanità⁷.

E' in un momento storico quale quello attuale, caratterizzato dall'imminente emanazione di una normativa specifica sulla materia e da un ripensamento della qualità dei servizi erogati in ambienti confinati ad elevata concentrazione umana, in cui la tutela della salute è destinata a diventare un fattore competitivo chiave per le imprese che li producono, che nasce, a seguito della stipula di una convenzione 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 Bicocca, il progetto di Osservatorio sulla Qualità dell'Aria Indoor (OQAI).

L'obiettivo è quello di creare un polo stabile di ricerca multidisciplinare su una tematica destinata ad avere una rilevanza crescente e "trasversale".

¹ 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>

² Settembre 2021.

³ <https://www.epicentro.iss.it/ambiente/qualita-aria-linee-guida-oms-2021>

⁴ Risoluzione 25 marzo 2021 relativa all'implementazione della *Ambient Air Quality* (AAQ) Directive.

⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0802>

⁶ <https://op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/4beb6973-83f8-49a9-a6c8-d31a6d75a247>

⁷ 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.

Per quanto concerne il primo aspetto è bene sottolineare come la graduale integrazione del tema qualità dell'aria *indoor* nel concetto di "sostenibilità" sia destinata a stimolare dinamiche di investimento in sicurezza e responsabilità sociale⁸ che possono influire positivamente sulle *performance* finanziarie delle imprese. Ciò è reso evidente dall'inclusione, nel primo Atto Delegato della Tassonomia Europea di specifici criteri tecnici di *screening* per l'attività di produzione di sistemi di raffrescamento, ventilazione e purificazione dell'aria, e dagli *standard* europei di rendicontazione sulla sostenibilità⁹ di recentissima introduzione, che dovranno essere utilizzati da tutte le società soggette agli obblighi di *reporting* non finanziario, i quali prevedono la comunicazione di informazioni relative alla salute nei luoghi di lavoro.

La trasversalità della tematica oggetto di studio è invece 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.

Più in particolare l'Osservatorio si propone di:

- condurre un'attività di stabile monitoraggio della normativa in evoluzione sia a livello nazionale che sovra-nazionale;
- sviluppare un'attività di ricerca permanente avente per oggetto la quantificazione dei costi esterni da inquinamento *indoor* e l'analisi delle caratteristiche tecnico-economiche delle tecnologie volte alla sua prevenzione;
- coinvolgere gli *stakeholder* del settore alimentando il dibattito tra accademia, istituzioni e imprese al fine di contribuire alla predisposizione di protocolli di azione e prendere parte al processo di definizione normativa in atto;
- mettere in contatto la domanda e l'offerta di tecnologia in considerazione dell'adeguamento infrastrutturale che sarà a breve richiesto a tutte quelle attività economiche che prevedono la concentrazione umana in ambienti confinati, per le quali sarà necessario un ripensamento radicale della qualità dei servizi offerti in termini di salvaguardia della salute pubblica;
- divenire un presidio scientifico di riferimento la cui attività sia fortemente improntata alla disseminazione, con lo scopo di garantire la piena diffusione dei risultati ottenuti e condivisi, coinvolgendo i partecipanti che potranno così contribuire attivamente al processo di *policy making*, nonché al successo del progetto, beneficiando altresì direttamente dei suoi risultati.

L'Osservatorio ha l'obiettivo di diffondere la consapevolezza che la tutela della salute umana in termini di qualità dell'aria respirata negli ambienti confinati di quotidiana frequentazione è destinato a diventare un fattore competitivo chiave per tutte le imprese produttrici di servizi erogati in ambienti confinati (pubblici e privati) che i produttori di tecnologia saranno chiamati ad "abilitare".

La partecipazione all'Osservatorio si configura perciò come strategica per gli *stakeholder* del settore.

⁸ Investimenti ESG.

⁹ ESRS, <https://finance.ec.europa.eu/news/commission-adopts-european-sustainability-reporting-standards-2023-07-31-en>; https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302772

1. Premessa

Le morti da inquinamento nel mondo nel 2019 sono state pari a circa 9 milioni¹⁰. Tali decessi sono imputabili per l'80% a malattie cardiovascolari e polmonari (polmoniti, tumori, bronco-pneumopatie).

Secondo l'Agenzia Europea per l'Ambiente, nell'Unione Europea, le morti premature attribuibili all'esposizione a particolato sottile (PM_{2,5}), ozono (O₃) e biossido di azoto (NO₂) sono state pari, nel 2018, a 452.400¹¹, (492.600 in tutta Europa), un numero di gran lunga superiore a quello dei decessi causati da incidenti stradali.

L'Italia con 65.700 morti, (circa il 15% del totale), si colloca al secondo posto dopo la Germania (76.300), seguita dalla Polonia (49.700), dalla Francia (41.300) e dal Regno Unito (39.900).

Nel complesso, nel 2018, nell'UE sono stati persi oltre 5 milioni di anni di vita¹² (YLL).

Nell'immaginario collettivo le emissioni autoveicolari e da riscaldamento¹³ deteriorano la qualità dell'aria nell'ambiente esterno intaccando in maniera marginale quello interno.

In realtà l'aria che respiriamo in ambiente *indoor* (tra le mura domestiche, in ufficio o in altri luoghi chiusi) può essere caratterizzata da una qualità di gran lunga peggiore di quella *outdoor*: oltre alle polveri sottili che possono penetrare dall'esterno, vanno considerati anche i composti organici volatili (COV) prodotti da diverse classi di sostanze chimiche e materiali con cui siamo in contatto abitualmente, i batteri e microrganismi vari.

Tutte queste sostanze contribuiscono all'inquinamento *indoor*, ossia all'inquinamento che si verifica all'interno degli edifici, e la loro combinazione può avere effetti dirompenti sulla salute umana e non solo.

Ciò nonostante, mentre l'inquinamento esterno costituisce da anni una delle priorità della politica ambientale europea e la qualità dell'aria è oggetto di regolamentazione¹⁴ e monitoraggio¹⁵, sia a livello comunitario che nazionale, l'attenzione istituzionale rivolta all'inquinamento *indoor*, definito nel 1991 dal Ministero dell'Ambiente come la presenza nell'aria di ambienti confinati di inquinanti chimici, fisici o biologici non presenti naturalmente nell'aria esterna, è contenuta, sebbene, nella pressoché totalità dei casi, nella media giornaliera, l'ambiente interno sia sempre più inquinato dell'esterno, prelevando aria già contaminata da quest'ultimo e gravandola di ulteriori elementi inquinanti.

L'attenzione all'inquinamento *indoor* è di recente aumentata a causa della pandemia.

Nel Rapporto 11/2021¹⁶ dell'Istituto Superiore di Sanità si sottolinea come, negli ambienti *indoor*, particolarmente affollati e non adeguatamente ventilati, il rischio di esposizione a SARS-Cov-2 sia molto più elevato rispetto agli ambienti *outdoor*, e come, dunque, il controllo della qualità dell'aria sia fondamentale per ridurre e contenere la diffusione del virus.

Tenendo presente che l'uomo trascorre la quasi totalità della giornata (90%¹⁷) in ambienti confinati, considerare la qualità dell'aria *indoor* come requisito per la salute diviene dunque fondamentale,

¹⁰ [https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(22\)00090-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00090-0/fulltext)

¹¹ <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

¹² Secondo l'AEA l'ammontare di *Years of Life Lost* (YLL) è stato pari a 5.223.000.

¹³ Il settore energetico, oltre ad essere il maggiore responsabile delle emissioni effetto serra sia in Europa che in Italia (85%), è il principale responsabile delle emissioni locali dando luogo, attraverso gli usi energetici del settore dei trasporti e del riscaldamento civile, all'81% delle emissioni di polveri sottili annue (NAMEA, Istat, 2018).

¹⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>

¹⁵ <https://www.eea.europa.eu/themes/air>

¹⁶ Indicazioni ad interim per la prevenzione e gestione degli ambienti indoor in relazione alla trasmissione dell'infezione da virus SARS-CoV-2. Aggiornamento del Rapporto ISS COVID-19 n. 5/2020 Rev. 2. Versione del 18 aprile 2021.

¹⁷ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_03_1278

specie per ciò che riguarda gli ambienti di lavoro e i pubblici uffici, ma anche le scuole, i mezzi di trasporto, gli ospedali, i locali della grande distribuzione, i luoghi ricreativi.

Il contesto normativo e istituzionale va infatti rapidamente cambiando.

Il 25 marzo 2021, nella sua Risoluzione¹⁸ relativa all'implementazione della *Ambient Air Quality* (AAQ) Directive¹⁹, il Parlamento europeo ha chiesto per la prima volta espressamente alla Commissione di regolare la qualità dell'aria *indoor*²⁰, evidenziando come l'attuale legislazione sia carente e frammentaria, e sollevando la necessità di predisporre e rivedere i sistemi di incentivazione per la sostituzione degli impianti di raffrescamento/riscaldamento, nonché di promuovere opportune campagne informative sul tema.

Il 22 settembre 2021 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha pubblicato le attese nuove Linee Guida sulla qualità dell'aria²¹, "*Global air quality guidelines*" (AQGs)²² rivedendo al ribasso le concentrazioni che i principali inquinanti atmosferici non devono superare, al fine di tutelare la salute umana.

Gli inquinanti considerati sono sei: polveri sottili PM_{2,5} e PM₁₀, ozono (O₃), biossidi di azoto (NO₂) e di zolfo (SO₂) e monossido di carbonio (CO). Per le polveri viene dimezzato il limite annuale relativo al PM_{2,5}, che passa da 10 a 5 microgrammi al metro cubo (µg/m³) e ridotto di un quarto quello del PM₁₀ (da 20 a 15 µg/m³). Ancora più drastico è il taglio all'NO₂, il cui valore soglia passa da 40 a 10 µg/m³. Si introduce, inoltre, un nuovo limite per l'ozono, che nel periodo estivo non deve superare la media giornaliera di 60 µg/m³. Il monossido di carbonio, un gas pericoloso soprattutto nei luoghi chiusi, è invece una "*new entry*": il limite giornaliero è fissato a 4 milligrammi al metro cubo (mg/m³). L'SO₂, infine, è il solo inquinante che vede salire la soglia di tolleranza, da 20 a 40 µg/m³.

L'OMS specifica chiaramente come i valori indicati riguardino sia l'aria all'aperto sia gli ambienti *indoor*, stimando, sulla base dell'ormai nota relazione causale fra l'esposizione alle polveri PM_{2,5} e l'aumento della mortalità per tutte le cause, nonché del rischio di sviluppare infezioni respiratorie, malattie polmonari croniche, infarto, cancro del polmone e ictus, diabete di tipo 2, morbo di Alzheimer e malattie neurologiche, che il rispetto dei nuovi limiti permetterebbe di ridurre dell'80% il numero delle morti per *smog*.

Nonostante le linee guida non siano vincolanti esse sono destinate inevitabilmente a pesare sugli orientamenti di governi e autorità, alla luce dell'aumentata sensibilità dell'opinione pubblica, e per motivi di carattere economico: si calcola infatti che in media, nei paesi OCSE, i costi sanitari dello *smog* ammontino al 5% del PIL. Un impatto destinato a salire per via dell'aumento dell'inquinamento ma, soprattutto, per la maggiore suscettibilità della popolazione legata all'invecchiamento e agli stili di vita.

L'adeguamento degli *standard* di qualità dell'aria alle linee guida dell'OMS, in conformità con gli obiettivi di riduzione dei costi dell'inquinamento atmosferico previsti dal Green Deal europeo, sono tra gli obiettivi della consultazione lanciata dalla Commissione Europea il 23 settembre 2021²³ e finalizzata alla revisione delle Direttive sulla qualità dell'aria²⁴ e all'emanazione di una proposta legislativa relativa all'allineamento ai nuovi parametri dell'OMS, al miglioramento del quadro

¹⁸ https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0107_IT.pdf

¹⁹ 2008/50/EC.

²⁰ *Indoor Air Quality* (IAQ).

²¹ <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

²² L'ultimo aggiornamento risale al 2005 quando per la prima volta furono introdotti i valori guida per il PM₁₀ e PM_{2,5}.

²³ e chiusa il 16 dicembre 2021.

²⁴ Il testo della revisione è stato approvato dall'europarlamento il 13 settembre 2023.

legislativo con la regolazione delle concentrazioni negli ambienti chiusi, alla predisposizione di piani di qualità dell'aria e l'implementazione di attività di monitoraggio.

La nuova Direttiva sulla *performance* energetica degli edifici (EBPD²⁵) ha segnato una svolta nella regolamentazione della qualità dell'aria *indoor* nella misura in cui obbliga gli Stati Membri ad imporre l'installazione di dispositivi di misura e controllo della qualità ambientale interna²⁶ e a stabilire norme contenenti i requisiti per il mantenimento di un clima salubre all'interno degli edifici basati su indicatori specifici, tra cui, le concentrazioni di alcuni inquinanti²⁷.

La qualità dell'aria in ambienti chiusi, oltre che sulla salute umana, ha implicazioni determinanti anche su altri ricettori quali i beni culturali ed artistici che subiscono nel tempo un degrado di cui l'inquinamento atmosferico è una delle cause principali.

Quest'ultimo esplica la sua funzione degradativa, modificando le proprietà chimiche, fisiche e biologiche dell'aria, determinando alterazioni sia agli esseri viventi, sia ai manufatti esposti alla sua azione, con ricadute economiche di rilievo per un paese, quale il nostro, in cui risulta custodita la maggior parte del patrimonio storico e artistico mondiale.

La tematica acquisisce maggiore rilevanza considerando tre aspetti fondamentali:

- il tempo trascorso in ambiente *indoor* è destinato ad aumentare per effetto dei cambiamenti climatici e dello sviluppo del telelavoro, specie in caso di emergenza sanitaria;
- l'accelerazione nel processo di deterioramento del patrimonio storico e artistico a cui si è assistito negli ultimi decenni porta a considerare la qualità dell'aria come una delle principali concause di tale fenomeno²⁸;
- le particelle inquinanti, come è noto, possono veicolare virus e batteri.

Le morti da inquinamento atmosferico, e, più in generale le connesse morbidità e riduzione dell'aspettativa di vita, che si configurano come esternalità negative dell'attività umana (*in primis* della produzione/consumo di fonti energetiche), hanno anche, come già accennato, un grave impatto economico sostanzialmente legato alla spesa socio-sanitaria e alla perdita di Prodotto Interno Lordo (PIL).

Allo stesso modo, il degrado dei beni culturali, si traduce in costi crescenti di conservazione, sia preventivi che di riparazione del danno.

Nel contesto delineato diviene dunque fondamentale proseguire:

- da un lato, nell'implementazione delle misure di riduzione dell'inquinamento atmosferico nei diversi comparti economici indirizzandoli verso uno sviluppo maggiormente sostenibile per quanto concerne la qualità dell'aria;
- dall'altro, nel garantire il miglioramento della qualità dell'aria negli ambienti confinati ad elevata concentrazione umana, e nei luoghi in cui vengono conservati i beni culturali.

²⁵ Energy Performance Building Directive approvata dal Parlamento Europeo il 14 marzo 2023.

²⁶ Art. 11.

²⁷ Art. 11 bis, assente nella proposta originaria della Commissione e inserito dal Parlamento.

²⁸ https://www.researchgate.net/publication/272621271_L%27impatto_dell%27inquinamento_atmosferico_sui_beni_di_interesse_storico-artistico_esposti_all%27aperto

2. Il contesto di ricerca

L'importanza della valutazione dei costi esterni derivanti dall'attività economica è stata riconosciuta dai principali documenti di politica internazionale e comunitaria, tra cui l'Agenda 21 (*United Nations* 1992) ed il V Programma d'azione ambientale (Unione Europea 1993), nei quali essa è considerata il presupposto economico per lo sviluppo sostenibile, definito nel Rapporto Brundtland (WCED²⁹ 1987) come lo sviluppo che soddisfa i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri.

La Commissione europea stima che le esternalità derivanti dall'inquinamento atmosferico e legate all'impatto sulla salute umana siano state pari nel 2015 a ben 940 miliardi di euro, ovvero circa il 9% del PIL dell'Unione, e causate dalla perdita di giorni di lavoro e dai conseguenti costi sanitari e sociali. Le morti e le morbidità ascrivibili all'inquinamento atmosferico, già gravi sul piano morale ed emotivo³⁰, hanno dunque un impatto economico rilevante nella misura in cui generano esternalità negative che ricadono sulla collettività: si va dalla spesa socio-sanitaria che viene finanziata con la fiscalità diretta, agli impatti negativi sull'attività economica in termini di produzione di PIL. La letteratura economica sulla correlazione tra il prodotto interno lordo pro-capite e benessere sociale, inteso come spesa sanitaria o spesa per l'istruzione o per la tutela delle fasce deboli della popolazione³¹, è nota e consolidata. Una perdita di PIL si traduce in altri termini nell'impossibilità o nel peggioramento della capacità di uno stato di assicurare adeguati servizi medici, di formazione e assistenziali e, più in generale, nell'incapacità di garantire i livelli di tutela su cui il nostro sistema di protezione sociale si fonda. L'economia da un lato e la salute, l'istruzione, l'assistenza sociale dall'altro sono intimamente legate e rappresentano le due facce di una medesima medaglia.

L'attribuzione di un valore alla vita umana e alle sue limitazioni ha numerose applicazioni nella vita pratica: in caso di decesso per errore medico, incidente stradale o sul lavoro, ad esempio, tribunali e assicurazioni sono infatti chiamati a stimare il prezzo di questo bene inestimabile per eccellenza. Allo stesso modo, il "capitale umano", ovvero il valore economico di ciascun uomo, è calcolato da economisti, statistici e politici quando occorre considerare l'opportunità di investimenti nella sicurezza sul lavoro o in nuove cure sanitarie. Come noto, l'impatto sulla salute dovuto all'inquinamento atmosferico può essere quantificato in termini di *Disability Adjusted Life Year - DALY* (attesa di vita corretta per disabilità) attraverso una relazione di tipo concentrazione-risposta tenendo conto della popolazione esposta e delle differenti cause di morte. Seguendo l'approccio del capitale umano³², la cui formulazione originale³³ ha subito diverse declinazioni, ma che si fonda sostanzialmente sulla mancata o ridotta produttività di uno dei fattori della produzione, il lavoro appunto, è possibile valorizzare gli anni di vita in salute persi in termini di PIL in considerazione del fatto che gli anni persi a seguito della morte prematura, o a seguito della comparsa di disabilità, risultano produttivi in misura nulla o decurtata, determinando una riduzione del Prodotto Interno Lordo, e, dunque, alla luce di quanto sopra esposto, un costo per l'intera collettività.

Gli studi relativi agli impatti dell'inquinamento atmosferico sulla salute umana sono numerosi e si differenziano per tipo di inquinante e area geografica considerati. Si presenta invece decisamente

²⁹ World Commission on Environment and Development.

³⁰ Ogni vita umana ha un valore unico e irripetibile.

³¹ Come gli anziani, o i disoccupati.

³² Quello alternativo basato sulla Disponibilità a Pagare – DAP presenta in fatto diverse criticità di implementazione nonché importatnti *bias* e deviazioni.

³³ Da attribuirsi ad Adam Smith nel suo saggio "Wealth of Nations".

meno ricca la letteratura inerente la quantificazione dei relativi costi esterni. Ancor meno consistente è quella riguardante i danni economici dell'inquinamento *indoor*, una tematica che, seppur consolidata nella letteratura scientifica, non è ancora sufficientemente "differenziata" in quella economica.

L'inquinamento riscontrabile in ambienti confinati di vita e di lavoro ha invece un impatto preponderante sulla salute umana rispetto a quello legato all'inquinamento *outdoor*, in quanto il danno da esso derivante è funzione della concentrazione di esposizione integrata nel tempo, e le persone spendono la maggior parte della propria giornata in ambienti confinati³⁴ e gli intervalli di concentrazione di alcuni inquinanti *indoor* sono spesso superiori ai valori limite fissati dalla normativa per l'*outdoor*.

Esso è responsabile di morti e morbidità diffuse.

Per quanto concerne la valutazione dei danni economici inerenti i beni culturali la letteratura scientifica, relativamente vasta in ordine agli effetti che la qualità dell'aria interna produce sui beni museali, è ad oggi decisamente carente, laddove, invece, l'implementazione di strategie di conservazione preventiva, che richiedono la quantificazione dei costi esterni da inquinamento atmosferico, sarebbe per il nostro paese di cruciale importanza.

3. Il progetto di ricerca

Posto che il numero preponderante di ore che la popolazione trascorre in ambiente confinato rende la quantificazione dei costi esterni dell'inquinamento *indoor* di assoluta rilevanza³⁵, e che il relativo ambito di ricerca risulta al momento ancora poco praticato sul fronte economico, è evidente che tale problematica, già assai pervasiva, vada acquisendo un'importanza di svariati ordini di grandezza superiore alla luce delle conclusioni di alcuni recenti studi sul tema, secondo cui le particelle inquinanti sono in grado di veicolare i virus³⁶, come il SARS-CoV-2, e la loro trasmissione è facilitata in ambienti confinati senza adeguato riciclo d'aria³⁷.

La Società Italiana di Medicina Ambientale (SIMA), che ha studiato e indagato la presenza del Corona-virus sul particolato atmosferico e le dinamiche di contagio legate alla scarsa qualità dell'aria in ambienti *indoor*, ha di recente promosso la creazione di una *task force* internazionale di ricerca (RESCOP³⁸) la quale ha evidenziato la necessità di mantenere le concentrazioni di particolato a bassi livelli per molteplici ragioni tra cui la diffusione del virus stesso che ha una modalità di

³⁴ ISPRA 2010, Inquinamento indoor: aspetti generali e casi studio in Italia.

³⁵ Almeno tanto quanto quella relativa all'inquinamento *outdoor*.

³⁶ Covid-19 è divenuto un elemento imprescindibile nella valutazione della tutela della salute dei lavoratori. Lo stesso Istituto Superiore di Sanità ha di recente a questo proposito stilato un rapporto sulla qualità dell'aria in ambienti chiusi contenente raccomandazioni per il mantenimento di una buona qualità dell'aria *indoor* negli ambienti di lavoro e scuola https://www.iss.it/documents/20126/0/Rapporto+ISS+COVID-19+n.+5_2020+REV.pdf/2d27068f-6306-94ea-47e8-0539f0119b91?t=1588146889381

³⁷ La SIMA (Società Italiana di Epidemiologia Ambientale) ha da pochi giorni pubblicato un *joint position paper* in cui si ipotizza una connessione tra le alte concentrazioni di particolato atmosferico (PM) e la recente diffusione di SARS-CoV-2 nelle regioni dell'Italia settentrionale, sebbene, rispetto a questo ultimo studio, la IAS (Società Italiana di Aerosol), ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) e i ricercatori dell'IFC-CNR (Istituto di Fisiologia Clinica del Consiglio Nazionale delle Ricerche) abbiano dichiarato che gli effetti delle concentrazioni di PM sulla suscettibilità e sulla diffusione del virus mediata dal particolato debbano ancora essere scientificamente dimostrati.

³⁸ Research Group on Covid 19 and Particulate Matters.

trasmissione per via aerea (*airborne*) e, pertanto, può rimanere sospeso e potenzialmente infettivo negli *aerosol*, raggiungendo distanze ben superiori ai 2 metri.

Più in generale la RESCOP sottolinea la necessità che in tutti gli ambienti ad alta concentrazione umana a partire dalle aule scolastiche e universitarie e dagli uffici, ma anche sui mezzi di trasporto (siano essi urbani o ferroviari, destinati alla mobilità quotidiana o al turismo, come le navi da crociera), nonché nei locali della grande distribuzione e della ristorazione, così come in alberghi e hotel, sia adottato un manuale per la gestione e il monitoraggio della qualità dell'aria *indoor*, al fine di implementare le misure utili a minimizzare le possibilità di venire in contatto con virus e batteri. RESCOP evidenzia a tale proposito i potenziali benefici di misure preventive specifiche che devono essere attentamente considerate per i summenzionati luoghi: dal monitoraggio della CO2 (utilizzato come indicatore indiretto) associato alla ventilazione naturale (o in alternativa a quella meccanica controllata) all'utilizzo di dispositivi validati per la purificazione dell'aria con filtrazione nanometrica.

Cominciare a parlare di modalità di abbattimento e di costi esterni dell'inquinamento *indoor* diviene dunque necessario in luoghi confinati ad alta concentrazione umana o addirittura imprescindibile qualora, così come avviene per la qualità dell'aria nei grandi centri urbani, si procedesse, così come la summenzionata legislazione suggerisce, alla fissazione di *standard* cogenti di qualità dell'aria, magari con riferimento a specifici inquinanti, in ambienti confinati.

Al momento, non esistendo valori di concentrazione limite per gli inquinanti *indoor*, viene in genere fatto riferimento ai limiti previsti per l'inquinamento atmosferico esterno³⁹ e alla normativa inerente la sicurezza sul lavoro⁴⁰.

Essendo inoltre la ventilazione meccanica la soluzione più efficace per la rimozione dei contaminanti interni esistono normative tecniche che prevedono minime portate d'aria di rinnovo per garantire la salubrità degli ambienti e il *comfort*⁴¹. Non esiste tuttavia una normativa univoca: disposizioni nazionali coesistono attualmente con norme europee, Direttive⁴² e leggi statali, caratterizzate da impostazioni e obiettivi differenti. Lo stesso vale per la filtrazione, e per le disposizioni di riferimento per gli impianti aeraulici destinati al benessere delle persone, installati in edifici chiusi.

Anche in Italia non si dispone di una normativa specifica per il controllo della qualità dell'aria negli ambienti di vita chiusi, sebbene il tema dell'*Indoor Air Quality* (IAQ) sia, come menzionato, sempre più oggetto di studio e attenzione a diversi livelli istituzionali. Le norme per la salubrità delle abitazioni sono fissate, per ogni comune, dal regolamento di igiene e sanità. Esistono delle Linee Guida realizzate su iniziativa del Ministero della Salute, norme relative alla salubrità degli ambienti di lavoro, raccomandazioni per la popolazione per alcuni inquinanti, e sono in vigore i requisiti minimi di emissione dei materiali utilizzati negli edifici pubblici⁴³.

L'emanazione di una normativa a livello europeo, e, di conseguenza, nazionale, è però imminente a seguito della revisione della Direttiva sulla performance energetica degli edifici e di altri provvedimenti comunitari in corso di rifusione.

³⁹ In Italia disciplinato dal D.lgs 155 del 13 agosto 2010.

⁴⁰ Testo Unico sulla Salute e la Sicurezza sul Lavoro, D.lgs 9 aprile 2008, n. 81.

⁴¹ Nel monitoraggio della qualità dell'aria *indoor*, si distinguono valori limite di salubrità e di *comfort*. I primi si riferiscono ai livelli di concentrazione degli inquinanti oltre i quali si possono riscontrare problemi di salute, quelli di *comfort* rappresentano i livelli di contaminanti che possono indurre sensazione di malessere o di aria pesante.

⁴² Si veda la Direttiva UE 2018/844 recepita dal nostro paese a giugno 2020.

⁴³ DM 11 gennaio 2017 "Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili" e successive modifiche.

Oltre alla salute umana la qualità dell'aria in ambienti chiusi influenza, come già detto, altri contesti di danno, tra cui quelli inerenti la conservazione dei beni culturali e la realizzazione di manufatti elettronici, con implicazioni economiche assai rilevanti.

L'inquinamento atmosferico in ambienti *indoor* è infatti un fattore di rischio per la conservazione e il restauro preventivo di opere d'arte di importanza mondiale. Sebbene la sua rilevanza per tali beni sia riconosciuta dalla comunità scientifica internazionale, non sono al momento disponibili *standard* e protocolli di conservazione preventiva che tengano conto in termini quantitativi dell'impatto dell'inquinamento atmosferico. Non esistono in particolare valori limite specifici, né a livello comunitario, né a livello nazionale, per gli effetti dell'inquinamento atmosferico sui beni di interesse storico e artistico, eccezion fatta, per il nostro paese, per una normativa piuttosto datata⁴⁴ riguardante i contesti museali.

La qualità dell'aria è anche responsabile di processi corrosivi a carico delle componenti elettroniche di ogni sistema informatico che tendono a dipendere dalle proprietà del particolato atmosferico (distribuzione dimensionale, composizione chimica, umidità relativa di deliquescenza, acidità). All'interno di questa ulteriore e vasta tematica, desta particolare interesse la richiesta energetica dei *data center* (DC), su cui i suddetti processi hanno effetto, che sta aumentando rapidamente in tutto il mondo, influenzandone i costi ambientali ed economici ad essi connessi.

Una regolazione della qualità dell'aria in ambiente *indoor*, oltre a rappresentare una sfida per la salute, la conservazione di opere di inestimabile valore e la sostenibilità ambientale, renderà necessari lo sviluppo e l'adozione di opportune tecnologie di monitoraggio, contenimento e purificazione. I mercati stanno già internalizzando l'importanza della qualità e salubrità dell'aria negli ambienti *indoor* che accresce il ruolo fondamentale della ventilazione meccanica in fase di progettazione o riqualificazione di un edificio.

Il mercato dei sistemi per la climatizzazione ha infatti raggiunto cifre esorbitanti nel 2022: l'indagine statistica realizzata da Assoclimate⁴⁵, a cui hanno partecipato quasi 50 aziende, dimostra una forte crescita di tutti i comparti, e in particolare i numeri record toccati dalle pompe di calore e dai sistemi ibridi. Per quanto riguarda la ventilazione, le unità di trattamento aria hanno registrato un incremento del 14% a volume e del 17% a valore e la ventilazione meccanica residenziale si conferma regina del settore, con un aumento del 94% a volume e del 57% a valore.

L'arrivo della pandemia ha enfatizzato l'importanza dei sistemi di climatizzazione, sia per quanto riguarda gli aspetti legati alla qualità dell'aria interna e al comfort *indoor* che quelli relativi alla transizione energetica del settore HVAC/R⁴⁶. Consapevole del duplice ruolo strategico di questi sistemi, il governo ne ha prontamente rafforzato gli incentivi, che hanno generato una crescita di mercato straordinaria.

La maggiore attenzione alla qualità dell'aria in ambienti confinati porterà inoltre all'inclusione nei bilanci di sostenibilità delle imprese di nuovi parametri relativi alla responsabilità sociale e alla sicurezza, già oggi oggetto di rilevazione e monitoraggio, per alcune categorie di aziende, da parte delle federazioni di categoria e degli organismi di vigilanza nazionali ed internazionali, creando un'ulteriore opportunità per le imprese di fare degli investimenti in sostenibilità ambientale e sociale⁴⁷ un importante volano commerciale e finanziario.

⁴⁴ Dlgs 112 del 1998, art. 150 e ss., <https://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/98112dl.htm>

⁴⁵ <https://www.assoclimate.it>

⁴⁶ *Heating Ventilation Air Conditioning and Refrigeration*.

⁴⁷ Investimenti ESG (Environmental, Social and Governance).

Nel primo Atto Delegato⁴⁸ di implementazione della Tassonomia Europea⁴⁹ sono previsti specifici criteri tecnici di *screening* per l'attività di produzione di sistemi di efficienza energetica negli edifici⁵⁰ relativi a sistemi di raffrescamento, ventilazione e purificazione dell'aria.

Anche gli *standard* europei di rendicontazione sulla sostenibilità (ESRS)⁵¹, che dovranno essere utilizzati da tutte le società soggette alla Direttiva sulla rendicontazione della sostenibilità delle imprese (CSRD⁵²), prevedono la *disclosure* di informazioni relative alla salute e alla sicurezza sul lavoro così come indicato nello standard S1⁵³.

Nel fluido e composito contesto delineato la definizione delle tecnologie disponibili per il miglioramento e il controllo della qualità dell'aria interna e l'analisi dei costi e benefici ad esse connessi, sia in termini ambientali che economici⁵⁴, è destinata ad assumere un ruolo chiave sia per le imprese fornitrici che per quelle consumatrici, chiamate a ripensare la qualità e la sicurezza dei servizi erogati in ambienti ad alta concentrazione umana.

3.1 Perimetro e obiettivi del progetto

Il presente progetto di ricerca si propone di trattare, con approccio multidisciplinare, (scientifico ed economico), la tematica dell'inquinamento *indoor* e delle sue ripercussioni sulla salute umana e altri ricettori, in un momento storico, particolarmente propizio quanto critico, in cui è stato avviato il processo di emanazione di una normativa specifica sulla materia, ed in cui la recente pandemia ha imposto un ripensamento delle modalità di erogazione dei servizi di ogni tipo in ambienti confinati ad elevata concentrazione umana.

Più in particolare l'Osservatorio persegue i seguenti obiettivi:

- costituire, attraverso il coinvolgimento di soggetti diversi sia per competenze che per interessi⁵⁵, e la "sintesi" dei loro punti di vista, un polo stabile di ricerca multidisciplinare sull'argomento e un punto di riferimento nel dibattito di *policy*;
- partecipare al processo di *regulation making* in atto, nella convinzione che i diversi *stakeholders* del settore non debbano essere semplici destinatari di una normativa elaborata

⁴⁸ Atto Delegato inerente gli obiettivi di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R2139>

⁴⁹ Regulation (EU) 2020/852, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852>

⁵⁰ Activity 3.5 Manufacture of energy efficiency equipment for buildings.

⁵¹ European Sustainability Reporting Standards (ESRS) elaborate dall'EFRAG (European Financial Reporting Advisory Group) e approvati dalla Commissione europea il 31 luglio 2023, https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive_en

⁵² Corporate Sustainability Reporting Directive, entrata in vigore il 5 gennaio 2023, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>

⁵³ ESRS S1 - Propria forza lavoro: regola le relazioni tra le imprese e i propri dipendenti, garantendo il rispetto dei diritti umani, delle norme internazionali del lavoro, della salute e della sicurezza sul lavoro, della diversità e dell'inclusione.

⁵⁴ L'analisi sarà in altri termini effettuata in ottica sociale e non privata tenendo conto sia dei costi/ricavi interni che di quelli esterni.

⁵⁵ Il riferimento va ai ricercatori, alle imprese, alle istituzioni competenti. Si veda infra, § 4.

unilateralmente ma parte attiva e proattiva nel suo processo di *design* al fine di renderla implementabile, condivisa ed efficace;

- presidiare stabilmente la tematica della qualità dell'aria *indoor* per fornire ai partecipanti all'Osservatorio una visione dinamica del settore, nonché gli strumenti analitici necessari per partecipare al summenzionato dibattito e affrontare le sfide commerciali che il nuovo contesto normativo e di mercato impongono;
- facilitare, grazie alla possibilità di usufruire di un tavolo di lavoro neutrale e composito, la comunicazione e il confronto tra imprese e istituzioni e tra l'offerta e la domanda di tecnologie;
- alimentare il dibattito scientifico e politico sull'argomento attraverso la collaborazione con centri di ricerca internazionali e un'attività di sistematica condivisione dei risultati di ricerca, pubblicazione scientifica e organizzazione di seminari e convegni.

L'analisi si svilupperà lungo le seguenti direttrici:

- la definizione dei livelli tipici di inquinamento *indoor* in diversi ambienti ad alta concentrazione umana (uffici, aziende, treni, navi da crociera, scuole, ospedali, strutture ricreative, centri commerciali, etc.), ed, eventualmente, nei luoghi di conservazione dei beni culturali e nei *data center*;
- la quantificazione dei relativi costi esterni sulla salute umana e su altri ricettori;
- la disamina delle tecnologie di contenimento disponibili, delle loro caratteristiche distintive, degli investimenti necessari, dei benefici da esse ritraibili in termini di costi esterni evitati;
- la messa a punto protocolli di monitoraggio e strumenti di intervento attraverso cui orientare l'azione volta al miglioramento della qualità dell'aria in ambienti chiusi.

Il progetto ha, in ultima analisi, l'obiettivo di diffondere la consapevolezza che la tutela della salute umana in termini di qualità dell'aria respirata negli ambienti confinati di quotidiana frequentazione è destinato a diventare un fattore competitivo chiave per tutte le imprese produttrici di servizi erogati in ambienti confinati (pubblici e privati) che i produttori di tecnologia saranno chiamati ad "abilitare".

La partecipazione all'Osservatorio, in grado di offrire la trattazione multidisciplinare del tema oggetto di studio, il confronto tra imprese collocate su filiere diverse e i ricercatori da un lato, e tra tali soggetti e le istituzioni dall'altro, la collaborazione con centri di ricerca internazionali e la messa a punto e diffusione di linee guida sulla qualità dell'aria interna, si configura come strategica per gli *stakeholder* del settore.

3.2 La struttura del progetto

Più in particolare, a fronte del monitoraggio dell'evoluzione normativa a livello nazionale ed europeo, l'attività di ricerca sarà strutturata come segue:

- a. Analisi della qualità dell'aria in ambienti confinati ad elevata concentrazione umana e di beni culturali e delle sue variabili esplicative.**

Tale attività sarà condotta attraverso una ricognizione della principale letteratura nazionale ed internazionale esistente e rilevazioni effettuate direttamente dal *team* di ricerca in

ambienti selezionati al fine di arrivare ad una definizione delle concentrazioni tipiche negli ambienti confinati aperti al pubblico, individuandone le determinanti e le differenze rispetto alle concentrazioni obiettivo definite dell'OMS;

b. Identificazione degli inquinanti/contaminanti maggiormente impattanti sulla salute umana (e sugli altri ricettori di interesse) e dei fattori di rischio relativo sulla base della principale letteratura scientifica internazionale.

Ciò consentirà di meglio definire il perimetro dell'analisi identificando i principali ambiti di azione e gli strumenti per l'abbattimento dell'inquinamento.

c. Rassegna delle principali metodologie di valorizzazione economica della mortalità e della morbilità da inquinamento atmosferico e del degrado prodotto da quest'ultimo sui beni culturali e stima dei costi esterni.

In questa sezione della ricerca sarà effettuata una ricognizione dello stato dell'arte in tema di costi esterni e di metodologie di valutazione dei danni prodotti dalla qualità dell'aria sulla salute umana e su altri ricettori. La quantificazione economica dei danni derivanti dall'inquinamento *indoor*, a partire dai risultati della summenzionata analisi, costituirà un tassello fondamentale per la valutazione dei possibili investimenti in tecnologie correttive nell'ambito di una corretta analisi costi – benefici e rappresenterà la base per la definizione di eventuali politiche di incentivazione.

d. Identificazione e verifica dell'apporto, in termini di riduzione/abbattimento delle concentrazioni, di specifiche tecnologie di condizionamento ambientale e dei conseguenti costi esterni evitati.

In questa sezione della ricerca si procederà alla rassegna delle tecnologie attualmente disponibili sul mercato, all'analisi dei costi e delle loro potenzialità in termini di monitoraggio/abbattimento dell'inquinamento *indoor*. L'obiettivo sarà quello di quantificare i benefici ad esse ascrivibili (costi esterni evitati) a fronte dei necessari investimenti, sulla base dell'attuale frontiera tecnologica.

e. Redazione di linee guida sulla qualità dell'aria in ambiente indoor e conclusioni.

I risultati delle precedenti analisi, consentendo di apprezzare l'ampiezza e la portata economica del fenomeno dell'inquinamento *indoor*, saranno tradotti in protocolli di azione finalizzati al monitoraggio e contenimento dell'inquinamento in ambienti confinati di diverso tipo, nell'intento di fornire ai diversi portatori di interesse strumenti e metodi per il suo abbattimento, e al decisore politico utili indicazioni per la definizione di regole, obiettivi, incentivi, finalizzati alla sua gestione non più a lungo procrastinabile.

4. Organizzazione e svolgimento dell'attività di ricerca

L'attività di studio sarà condotta dai ricercatori dell'Università Bocconi e dell'Università Bicocca, con il supporto scientifico e finanziario di un *pool* di imprese/associazioni.

La cooperazione tra i due atenei nasce dalla considerazione secondo cui la tematica degli impatti dell'inquinamento atmosferico rappresenta un naturale punto di incontro tra le scienze e le tecnologie ambientali (ed in particolare la chimica dell'atmosfera) e le scienze economiche. In tale ottica le competenze del primo tipo saranno fornite dall'Università Bicocca, mentre la parte di analisi economica sarà curata dall'Università Bocconi.

L'approccio analitico al problema sarà in altri termini di tipo multidisciplinare: l'efficacia delle politiche di gestione dell'inquinamento ambientale è infatti funzione di una corretta valorizzazione del danno economico (costo esterno) ad esso conseguente che dipende, a sua volta, dalla precisa rilevazione ed interpretazione del fenomeno dal punto di vista chimico e dalla valutazione delle opportune soluzioni di contenimento sul piano tecnologico.

Sarà creato un apposito "tavolo di lavoro" composto dai suddetti soggetti (ricercatori e imprese) che fungerà da "collettore e sintetizzatore" scientifico delle diverse competenze e dei diversi interessi, al fine di arrivare alla produzione di risultati analitici e proposte di *policy* ponderati e condivisi.

Il ruolo delle imprese partecipanti sarà essenzialmente quello di contribuire alla definizione degli indirizzi di ricerca, di suggerire spunti di riflessione, suggerire approfondimenti, fornire (ove lo ritengano opportuno) dati necessari allo svolgimento dell'attività di analisi, e di valutare e validare il lavoro svolto dai ricercatori il quale sarà presentato nel corso di apposite riunioni.

A tal fine il suddetto tavolo sarà convocato periodicamente, con cadenza almeno trimestrale, per sottoporre, discutere e condividere gli avanzamenti della ricerca, seguendo un approccio collaborativo e sinergico.

Alle riunioni saranno saltuariamente invitati anche gli esponenti delle istituzioni rilevanti per il settore oggetto di ricerca, come il Ministero per lo Sviluppo Economico (MISE) e il Ministero per la Transizione Ecologica (MITE), e, eventualmente, membri delle Commissioni Parlamentari pertinenti. Saranno organizzati anche uno o più incontri annuali con esponenti del Parlamento Europeo al fine di essere informati dell'andamento del processo regolatorio *in itinere* e di avere un confronto diretto con il *policy maker*.

Il progetto prevede anche l'attivazione di contatti con centri di ricerca internazionali attivi sul tema dell'*Indoor Air Quality* con l'obiettivo di dividerne reciprocamente i risultati, trarre utili spunti analitici e contribuire allo sviluppo sistemico di un'attività di ricerca europea sul tema che possa essere adiuvante per la definizione del quadro regolatorio.

Al termine di ogni anno sarà predisposto un *Report* di ricerca da presentarsi nell'ambito di un convegno scientifico, organizzato dai due atenei, a cui saranno invitati gli interlocutori rilevanti del mondo accademico, industriale e istituzionale.

Il *report* e la sua presentazione finale saranno pubblicati sul sito del GREEN (Centro di Ricerca sulla Geografia, le Risorse naturali, l'Energia, l'Ambiente e le Reti) dell'Università Bocconi e del DISAT (Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra) dell'Università Bicocca.

Sarà valutata l'opportunità di creare un apposito sito *internet*.

Tutti gli *output* di ricerca recheranno l'indicazione delle imprese/associazioni partecipanti all'Osservatorio e saranno altresì diffusi attraverso pubblicazioni sulle riviste specializzate e sulla stampa divulgativa.

Il progetto ha carattere permanente con possibilità di adesione biennale.

E' richiesta una quota di partecipazione commisurata alla dimensione delle imprese aderenti.

E' in particolare previsto un costo di 4 k€ annui per le piccole imprese (e le associazioni) e di 8 k€ annui per le imprese di grandi dimensioni.

BIBLIOGRAFIA

Barde J.P., Pearce D.W., Valuing the Environment, London, 1991.

Bickel P., Friedrich R., Environmental and external costs of transport, 2013.

Bickel P., Friedrich R., ExternE, Externalities of Energy, Methodology 2005 update.

Bickel P., *Economic Valuation of Health Effects due to Airborne Pollutants in ExternE*, ECE/WHO "Pan-European Program on Transport, Health and Environment", Workshop on Economic Valuation of Health Effects due to Transport, Stockholm, June, 12-13, 2004.

Bolzacchini E., Ferrero L., Proto A., Pironti C., Cucciniello R., Motta O., Rizzi C., Močnik G., Dall'Aglio L., Rostagno C., "Particulate and gaseous indoor contamination at the Museum of "Last Supper" of Leonardo Da Vinci: results from one year of monitoring activity", XXVI Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana, 10-14 Settembre 2017 Paestum, Italia.

Boulanger G. et al, Socio-economic costs of indoor air pollution: A tentative estimation for some pollutants of health interest in France, Environment International, 2017.

Casati M., Rovelli G., D'Angelo L., Perrone M., Sangiorgi G., Bolzacchini E., Ferrero L., Experimental measurements of particulate matter deliquescence and crystallization relative humidity: Application in heritage climatology, Aerosol and Air Quality Research, 2015.

Devleeschauver B. et al, DALY calculation in practice: a stepwise approach, International Journal of Public Health, 2014.

Devleeschauver B. et al, Calculating disability-adjusted life years to quantify burden of disease, International Journal of Public Health, 2014.

De Paoli L., The fight against climate change: Some proposals for action for Italy in Europe, Economics and policy of Energy and the Environment, 2015.

Dorigoni S., Gullì F., Tasse ambientali e concorrenza interfonti, Economia delle Fonti di Energia e dell'Ambiente, 1999.

Dorigoni S., Gullì F., Energy tax harmonization in the European Union: a proposal based on the internalization of environmental external costs, European Environment, 2002.

Ferrero L., Sangiorgi G., Ferrini B., Perrone M., Moscatelli M., D'Angelo L., Rovelli G., Ariatta A., Truccolo R., Bolzacchini E., Aerosol corrosion prevention and energy-saving strategies in the design of green data centers. Environmental Science and Technology, 2013.

Ferrero L., D'Angelo L., Rovelli G., Sangiorgi G., Perrone M., Moscatelli M., Casati M., Rozzoni V., Bolzacchini E., Determination of aerosol deliquescence and crystallization relative humidity for energy saving in free-cooled data centers, International Journal of Environmental Science and Technology, 2015.

Ferrero L., M. Casati, L. Nobili, L. D'Angelo, G. Rovelli, G. Sangiorgi, C. Rizzi, M.G. Perrone, A.

Sansonetti, C. Conti, E. Bolzacchini, E. Bernardi, I. Vassura: Chemically and size resolved particulate matter dry deposition on stone and surrogate surfaces inside and outside the low emission zone of Milan: application of a newly developed “Deposition Box”, Environmental Science and Pollution Research, 2018.

Ferrero L., Močnik G., Cogliati S., Gregorič A., Colombo R., Bolzacchini E.: Heating Rate of Light Absorbing Aerosols: Time-Resolved Measurements, the Role of Clouds, and Source Identification, Environmental Science and Technology, 2018.

Ferrero L., Castelli M., Ferrini B., Moscatelli M., Perrone M., Sangiorgi G., D'Angelo L., Rovelli G., Moroni B., Scardazza F., Mocnik G., Bolzacchini E., Petitta M., Cappelletti D., Impact of black carbon aerosol over Italian basin valleys: High-resolution measurements along vertical profiles, radiative forcing and heating rate, Atmospheric Chemistry and Physics, 2014.

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

ISTAT, Il valore monetario del capitale umano in Italia – anni 1998-2008, 2014.

Koustuv D., Svanstrom L., Disability adjusted life year (DALY): A useful tool for quantitative assessment of environmental pollution, Scires, 2015.

Nenna R. et al, Respiratory syncytial virus bronchiolitis, weather conditions and air pollution in an Italian urban area: An observational study, Environmental Research, 2017.

Tingting G. et al, Disability adjusted life year (DALY): A useful tool for quantitative assessment of environmental pollution, Science of the Total Environment, 2015.

<http://www.externe.info/>

<https://cordis.europa.eu/project/id/502671/it>

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_03_1278

https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/en/indoor-air-pollution/index.htm

https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en

<https://epha.org/take-a-deep-breath-on-indoor-air-quality-at-the-european-health-forum-gastein/>

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

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R2139>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0802>

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302772

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844>

https://finance.ec.europa.eu/news/commission-adopts-european-sustainability-reporting-standards-2023-07-31_en

https://finance.ec.europa.eu/regulation-and-supervision/financial-services-legislation/implementing-and-delegated-acts/corporate-sustainability-reporting-directive_en

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

<https://www.breeze-technologies.de/blog/european-eu-regulation-and-limits-on-air-pollution/>

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

<https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>

<https://www.eea.europa.eu/themes/air>

<https://www.eea.europa.eu/themes/air>

<https://www.enea.it/it/Stampa/news/salute-al-via-studio-su-impatto-dell'inquinamento-dell'aria-nei-luoghi-di-lavoro>

<https://www.epicentro.iss.it/ambiente/qualita-aria-linee-guida-oms-2021>

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0107_IT.pdf

https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0107_IT.pdf

<https://www.eurovent.eu/policyupdates/air-quality-buildings-radar-european-legislators-gen-122700/>

<https://www.evia.eu/indoor-air-quality/>

<https://www.expoclima.net/2021-anno-straordinario-per-sistemi-di-climatizzazione>

<https://www.focus.it/scienza/salute/oms-linee-guida-qualita-aria>

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2017/01/28/17A00506/sg>

<https://www.ilgiornaleoff.it/2022/03/15/sima-contro-i-contagi-monitoraggio-co2-e-purificatori-in-ambienti-indoor/>

<https://www.iss.it/documents/20126/0/Rapporto+ISS+COVID-19+n.+5+2020+REV.pdf/2d27068f-6306-94ea-47e8-0539f0119b91?t=1588146889381>

<https://www.lavoro.gov.it/documenti-e-norme/studi-e-statistiche/Documents/Testo%20Unico%20sulla%20Salute%20e%20Sicurezza%20sul%20Lavoro/Testo-Unico-81-08-Edizione-Giugno%202016.pdf>

<https://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/98112dl.htm>

https://www.researchgate.net/publication/272621271_L%27impatto_dell%27inquinamento_atmosferico_sui_beni_di_interesse_storico-artistico_esposti_all%27aperto

https://www.researchgate.net/publication/272621271_L%27impatto_dell%27inquinamento_atmosferico_sui_beni_di_interesse_storico-artistico_esposti_all%27aperto

<https://www.reteambiente.it/news/45854/qualit-aria-revisione-norme-ue-entro-2022/>

<https://www.simaitalia.org/?s=RESCOP>

[https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196\(22\)00090-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanplh/article/PIIS2542-5196(22)00090-0/fulltext)

https://www.who.int/europe/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

<https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

<https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>