

Mal d'aria

Contributi sul tema dell'inquinamento atmosferico
nell'ambito del progetto artistico di Laura Pugno



Edizioni
Ca' Foscari

Mal d'aria

I libri di Ca' Foscari

24



Edizioni
Ca' Foscari



Università
Ca' Foscari
Venezia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



UNIVERSITÀ
di VERONA

Delegate/i RUS – Rete delle Università per lo Sviluppo Sostenibile

Elena Semenzin (Università Ca' Foscari Venezia) Valeria Tatano (Università Iuav di Venezia) Francesca da Porto (Università degli Studi di Padova) Matteo Nicolini (Università degli Studi di Verona)

Progetto coordinato da

Ufficio Sostenibilità, Università Ca' Foscari Venezia Anna Bonfante, Vania Levorato

Con la collaborazione di

Enrica Pillon (Università Iuav di Venezia) Area Comunicazione e marketing, Ufficio Public engagement (Università degli Studi di Padova) Nicolò Olivieri (Università degli Studi di Verona)

Artista Laura Pugno

Con il contributo scientifico di

Shaul Bassi, Mauro Masiol, Beatrice Rosso Università Ca' Foscari Venezia
Elena Giacomello, Valeria Tatano Università Iuav di Venezia
Paolo Giardullo, Maurizio Malo, Alberto Pivato Università degli Studi di Padova
Matteo Dainese, Alessandro Marcon, Fabio Piccinelli Università degli Studi di Verona

Studentesse e studenti che hanno partecipato alla realizzazione del progetto

Università Ca' Foscari Venezia Giorgia Cianfanelli, Daniela Decaro, Francesca Iacoponi, Sara Korolija, Camilla Lagani, Giada Limina, Jasmine Miraval, Libero Modugno, Sofia Nicoletto
Università Iuav di Venezia Fabiana Cardone, Giulia De Cecco, Daria Romanova, Andrea Segna
Università degli Studi di Padova Viola Baschirotto, Gloria Borsoni, Benedetta Canella, Alessia Catto, Alice De Biasio, Abramo Gallio, Adriana Mirabella, Silvia Musella, Ambra Rustemi
Università degli Studi di Verona Asia Benetazzo, Beatrice Boaretto, Eleonora Bordiga, Paulo Isaque De Souza Pires, Irene Fenzi, Emma Gudiy Caresia, Elisa Popolizio

Partecipazione al workshop/performance

Eleonora Bordiga, Gloria Borsoni, Fabiana Cardone, Alessia Catto, Alice De Biasio, Daniela Decaro, Abramo Gallio, Emma Gudiy Caresia, Jasmine Miraval, Daria Romanova, Andrea Segna

Testi dei pannelli espositivi Giorgia Cianfanelli, Giada Limina, Adriana Mirabella, Silvia Musella

Grafica dei pannelli espositivi Paolo Cagliero

Podcast Viola Baschirotto, Asia Benetazzo, Daniela Decaro, Sara Korolija, Sofia Nicoletto

Documentazione fotografica e video del progetto Benedetta Canella, Paulo Isaque De Souza Pires, Francesca Iacoponi, Camilla Lagani, Giada Limina

Progettazione per allestimento di Padova Area Comunicazione e marketing, Ufficio Comunicazione, Settore Promozione (Università degli Studi di Padova)

Ringraziamenti

Paolo Cagliero, Giulia Bortoluzzi, Donatella Ottoboni, Nicolò Groja, Lucia Veronesi
Si ringrazia Palazzo Maffei Casa Museo di Verona, che nell'ambito del progetto ha dato la possibilità a studentesse e studenti di scoprire la sua collezione attraverso una visita guidata gratuita dedicata.

Partners



Simóndi
ART — GALLERY

Collaborazioni



Mal d'aria

Contributi sul tema
dell'inquinamento atmosferico
nell'ambito del progetto
artistico di Laura Pugno

a cura di
Anna Bonfante

Venezia
Edizioni Ca' Foscari - Venice University Press
2024

Mal d'aria. Contributi sul tema dell'inquinamento atmosferico
nell'ambito del progetto artistico di Laura Pugno

© 2024 Anna Bonfante per il testo

© 2024 Edizioni Ca' Foscari per la presente edizione

A cura di Anna Bonfante

Referenze fotografiche Laura Pugno (pp. 18-29; 84-101)



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione 4.0 Internazionale
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Qualunque parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata in un
sistema di recupero dati o trasmessa in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettro-
nico o meccanico, senza autorizzazione, a condizione che se ne citi la fonte.

Any part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or trans-
mitted in any form or by any means without permission provided that the source is
fully credited.

Edizioni Ca' Foscari

Fondazione Università Ca' Foscari

Dorsoduro 3246, 30123 Venezia

edizionicafoscari.unive.it | ecf@unive.it

1a edizione maggio 2024

ISBN 978-88-6969-810-1 [ebook]

ISBN 978-88-6969-811-8 [print]

Stampato per conto di Edizioni Ca' Foscari, Venezia

nel mese di aprile 2024 da Skillpress, Fossalta di Portogruaro, Venezia

Printed in Italy

Mal d'aria. Contributi sul tema dell'inquinamento atmosferico nell'ambito del progetto
artistico di Laura Pugno — 1. ed. — Venezia: Edizioni Ca' Foscari - Venice University Press,
2024. — 130 pp.; 25,5 cm. — (I libri di Ca' Foscari; 24). — ISBN 978-88-6969-810-1.

e-ISSN 2610-9506

ISSN 2610-8917

URL edizionicafoscari.unive.it/it/edizioni/collane/i-libri-di-ca-foscari/

URL edizionicafoscari.unive.it/it/edizioni/libri/978-88-6969-811-8/

DOI doi.org/10.14277/978-88-6969-810-1

Mal d'aria

Contributi sul tema dell'inquinamento atmosferico
nell'ambito del progetto artistico di Laura Pugno

Sommario

Fare rete per la sostenibilità attraverso l'arte

Elena Semenzin 9

Arte e Sostenibilità: un progetto di apprendimento attivo

Anna Bonfante 11

Il respiro come sottrazione gentile

Giulia Bortoluzzi 13

PERFORMANCE 17

CONTRIBUTI ACCADEMICI

Aria pesante: un problema da risolvere

Gas serra, gas inquinanti e particolato:
una minaccia per la vita futura del nostro pianeta
Fabio Piccinelli 33

L'inquinamento atmosferico e i suoi paradossi sociali: tra sviluppo e conseguenze per la salute

Paolo Giardullo 41

Le microplastiche in ambiente sono ovunque: ma possono contaminare anche l'aria?

Beatrice Rosso 49

Riflessioni sulle strategie da adottare per la riduzione dell'inquinamento atmosferico nel bacino padano

Alberto Pivato 53

Verde urbano e qualità dell'aria per città più vivibili

Valeria Tatano, Elena Giacomello 65

Venezia: aria e immaginario nell'Antropocene

Shaul Bassi 75

APPROFONDIMENTI DI STUDENTESSE E STUDENTI

**L'impatto dell'inquinamento atmosferico
sul patrimonio culturale italiano****Il progressivo degrado dei beni culturali esposti all'aperto**

Beatrice Boaretto

105

Le microplastiche: una minaccia invisibile

Paulo Isaque De Souza Pires

109

Non Fungible Earth**Arte + Scienza + Tecnologia = Neo-visibilità della Terra**

Irene Fenzi

113

Anima

Abramo Gallio

117

**Linguaggio come strategia per educare
alla sensibilità ecologica**

Jasmine Miraval

119

Awareness art**La cultura come motore immobile di riflessioni
e pratiche della sostenibilità**

Elisa Popolizio

123

Mal d'aria

Contributi sul tema dell'inquinamento atmosferico nell'ambito
del progetto artistico di Laura Pugno

Sustainable Art Prize 2022

Fare rete per la sostenibilità attraverso l'arte

Il complesso percorso verso la sostenibilità richiede importanti cambiamenti, a livello culturale e comportamentale. L'educazione è uno dei mezzi più efficaci per avviare e accompagnare la comunità verso un percorso che porti a un reale cambiamento.

Oggi più che mai siamo consapevoli che le Università rivestono un ruolo chiave per l'attuazione di un nuovo modello di sviluppo e per il raggiungimento degli obiettivi dell'Agenda per lo Sviluppo Sostenibile che l'ONU ha posto per il 2030.

In questo percorso gli Atenei del Veneto – Università Ca' Foscari Venezia, Università Iuav di Venezia, Università degli Studi di Padova e Università degli Studi di Verona – hanno deciso di riservare particolare attenzione alla formazione delle proprie studentesse e studenti, consapevoli che i loro comportamenti e le loro decisioni future saranno influenzati anche da quanto acquisiranno durante la loro esperienza universitaria. Prestare attenzione alle tematiche di sostenibilità e sviluppare iniziative di sensibilizzazione però non è sufficiente.

È necessario fare rete, diffondere le buone pratiche e mettere a sistema le

conoscenze dei singoli Atenei, andando oltre i confini della propria Università, per dare avvio a uno scambio proficuo e a una contaminazione positiva a livello territoriale, regionale, nazionale e internazionale. Ca' Foscari, insieme agli altri Atenei veneti, è membro attivo della RUS (Rete delle Università per lo Sviluppo Sostenibile) che ha tra i suoi principali obiettivi proprio la disseminazione e il trasferimento di buone pratiche e lo sviluppo congiunto di iniziative e progetti in ambito educativo e non solo.

Queste finalità sono ampiamente condivise e messe in pratica anche a livello regionale, attraverso una stretta collaborazione tra gli Atenei sui temi dello sviluppo sostenibile.

Nel 2022, per la prima volta, le quattro Università venete hanno lavorato insieme nell'ambito dei progetti di arte e sostenibilità, sviluppati a Ca' Foscari fin dal 2013, consapevoli del valore che la forma artistica ha come mezzo per raccontare le sfide globali. Si tratta di progetti che stimolano la riflessione e il comportamento individuale e collettivo, aumentano l'impegno intellettuale ed emotivo di studenti e studentesse, del personale e del territorio, verso la sostenibilità,

innescando una sintesi inedita che porta a soluzioni creative e a nuovi percorsi collaborativi.

La collaborazione tra gli Atenei è nata nell'ambito del Sustainable Art Prize, un premio istituito da

Ca' Foscari nel 2017 in collaborazione con ArtVerona, che ha visto le quattro Università entrare a far parte della giuria del Premio, e nel 2023 lavorare insieme alla realizzazione del progetto dell'artista vincitrice, Laura Pugno.

Arte e Sostenibilità: un progetto di apprendimento attivo

Mal d'aria, un progetto il cui titolo, con sole due parole, spiega in maniera più che esaustiva il problema a cui siamo tutte e tutti esposti, chi più chi meno: l'inquinamento dell'aria. Una tematica molto sentita a Venezia, così come a Padova e a Verona e in generale in tutta l'area della Pianura Padana.

Il progetto di Arte e Sostenibilità 2023 era incentrato su questa importante quanto mai urgente problematica, che accomuna le tre città in cui si trovano gli Atenei partecipanti alla realizzazione del progetto.

Il tema, dalle forti implicazioni ambientali, è stato trattato da diversi punti di vista: in primis dalla prospettiva scientifica, quella medica con le ricadute sulla salute umana, la dimensione architettonica e non ultima quella sociale, che troveranno ampio approfondimento nei capitoli che seguono.

Ogni Università, con le sue specificità, ha dato il suo contributo scientifico e accademico, attraverso l'organizzazione di seminari tematici, dove la problematica è stata trattata e analizzata da docenti, ricercatori e ricercatrici che da anni studiano questo argomento, alla ricerca di nuove possibili soluzioni.

Il progetto, quindi, aveva l'obiettivo di trattare una specifica tematica dello

sviluppo sostenibile con uno sguardo multidisciplinare, non limitandosi a guardare al problema da una sola prospettiva ma ampliando il campo di analisi, incrociando diversi ambiti disciplinari e generando così sinergie e collaborazioni indispensabili nell'approccio allo sviluppo sostenibile.

Dal 2017 i progetti di Arte e Sostenibilità nascono dalla collaborazione con il vincitore o la vincitrice del Sustainable Art Prize, un premio incentrato sui temi della sostenibilità dedicato alle artiste e agli artisti presenti all'annuale fiera ArtVerona.

Il progetto *Mal d'aria* dell'artista Laura Pugno, vincitrice del Premio nel 2022, è dunque la prima esperienza di collaborazione in questo campo tra gli Atenei del territorio, che ha portato alla partecipazione di 40 studenti e studentesse, dieci per ciascuna università, che hanno preso parte a quattro seminari tematici: uno per ogni Ateneo; il percorso creativo è proseguito con attività pratiche e laboratoriali. Questa nuova organizzazione del progetto ha indubbiamente permesso a studenti e studentesse di apprendere nuove conoscenze, in molti casi davvero molto lontane dal loro ambito di studio,

e allo stesso tempo di sviluppare nuove competenze, proprio grazie al confronto e alla collaborazione tra persone provenienti da diversi Dipartimenti e, per la prima volta, da diversi contesti universitari. Le attività pratiche (redazione di testi, realizzazione di un programma radio, documentazione foto e video delle fasi del progetto e laboratori con l'artista) hanno inoltre permesso loro di mettere in pratica e acquisire conoscenze in ambito artistico e organizzativo, dando vita a una contaminazione feconda e innovativa. Un'esperienza, che nell'ottica del *learning by doing*, permette alla componente studentesca di formarsi e di ampliare il proprio curriculum personale, agendo in prima persona, entrando in contatto con esperti ed esperte e con l'artista, scoprendo le fasi del processo creativo e come questo prenda forma a partire dalle sollecitazioni raccolte durante i seminari.¹

L'idea alla base dei progetti di arte e sostenibilità è di utilizzare il mezzo dell'arte per comunicare concetti spesso

complessi attraverso il linguaggio emozionale, portando i fruitori e le fruitrici delle opere d'arte a porsi domande, ad approfondire il tema e in molti casi a cambiare prospettiva riguardo alle problematiche trattate.

L'arte, mostrandoci le sfide dei nostri giorni, si fa leva del cambiamento e uno stimolo per diventare tutte e tutti noi fautrici e fautori di un futuro migliore attraverso l'assunzione di atteggiamenti responsabili e proattivi.

Questo volume, attraverso gli scritti di chi è stato parte attiva del progetto, illustra il percorso che da ottobre a dicembre 2023 ha portato studenti e studentesse, docenti e l'artista stessa ad analizzare la problematica e a sviluppare una riflessione attorno alla tematica, nel tentativo di trasmettere a chi legge, oltre alle mere nozioni scientifiche, possibili soluzioni e spunti di riflessione che instillino una maggiore consapevolezza e stimolino un senso di responsabilità necessario per rendere il nostro futuro più sostenibile.

1 Mantoan, D.; Bonfante, A.; Barea, F. (2019). *You are (NOT) welcome: Barriere (im)percettibili nel contesto urbano contemporaneo*. Venezia: Edizioni Ca' Foscari, 14. <https://phaidra.cab.unipd.it/o:488026>.

Contributi Accademici

Fabio Piccinelli

Paolo Giardullo

Beatrice Rosso

Alberto Pivato

Valeria Tatano

Elena Giacomello

Shaul Bassi

Aria pesante: un problema da risolvere

Gas serra, gas inquinanti e particolato: una minaccia per la vita futura del nostro pianeta

Introduzione

L'aria che respiriamo tutti i giorni ha una composizione adatta alla vita degli organismi che popolano la terra. Tale concentrazione non è troppo bassa da impedire la vita degli organismi aerobi eterotrofi come l'essere umano, e non è troppo alta da produrre una miscela gassosa troppo reattiva (esplosiva) nei confronti del materiale organico. Non considerando il vapore acqueo presente (aria secca) l'aria è costituita da azoto (N_2) al 78% in volume, ossigeno (O_2) al 21%, argon (Ar) al 0.9% e anidride carbonica (CO_2) 0.04%. L'origine del gas argon deriva dal decadimento radioattivo dell'isotopo 40 dell'elemento potassio (^{40}K) che si trasforma nell'isotopo argon 40 (^{40}Ar). Il potassio, come ione, si trova diffusamente nei minerali e nelle rocce della crosta terrestre. Tuttavia, la composizione dell'aria nell'atmosfera della terra ha subito evoluzioni nel tempo. Cinque miliardi di anni fa, essa era priva di ossigeno e non esistevano organismi aerobi. Le prime tracce di

ossigeno comparvero solo 2-1,5 miliardi di anni fa, quando i primi organismi autotrofi furono in grado di produrre O_2 cibandosi della CO_2 prodotta da organismi eterotrofi che vivevano in assenza di ossigeno. Nel periodo che va tra 540 milioni di anni fa ad oggi la concentrazione di ossigeno è aumentata fino a un massimo del 30%, per poi stabilizzarsi all'attuale valore (Holland 2006). La presenza nell'aria di gas come CO_2 e H_2O nella troposfera,¹ garantisce il mantenimento di una temperatura media sulla terra di 15°C, compatibile con la vita, e una limitata escursione termica giorno/notte. Ciò è dovuto al cosiddetto effetto serra. Il 50% dei raggi provenienti dal sole (ultravioletti, visibili e infrarossi) vengono assorbiti dalla crosta terrestre che si scalda. Ogni corpo che si scalda diventa sorgente di radiazioni infrarosse. In questo caso, tali radiazioni vanno dalla crosta terrestre all'atmosfera dove incontrano i due gas CO_2 e H_2O (denominati gas serra), i quali hanno la

1 Lo strato di aria che si estende dalla superficie della terra verso l'atmosfera per circa 18 km.

caratteristica di assorbire tale radiazione emettendo calore, che si traduce nella riemissione di altra radiazione infrarossa. Tale radiazione, in una certa percentuale, raggiunge la crosta terrestre e questo processo di assorbimento ed emissione si ripete varie volte. L'effetto finale è quello di un riscaldamento della troposfera (effetto serra). Un'altra molecola molto importante per la vita sulla terra è l'ozono (O_3) che è presente nei primi strati della stratosfera.² La molecola di ozono che si forma per

reazione fotochimica tra l'atomo e la molecola di ossigeno, è in grado di assorbire praticamente tutta la radiazione ultravioletta (UV-B e C) proveniente dal sole (100-315 nm), lasciando passare le radiazioni con lunghezza d'onda da 315 nm in su, incluse le radiazioni visibili e infrarosse. Le radiazioni ultraviolette che grazie alla molecola di ozono non arrivano sulla terra sarebbero estremamente nocive per la salute degli organismi che popolano la terra, poiché possiedono una elevata energia.

Emissioni gassose e particolato

Sebbene le attività umane siano rivolte allo sviluppo e al progresso della civiltà, inevitabilmente hanno un impatto non sempre positivo sulla salute del pianeta terra e dei suoi abitanti. Tali attività producono sia gas che particolato, che vengono immessi nell'atmosfera. Prendendo come riferimento gli Stati Uniti d'America, settori come il commercio, i trasporti, le attività industriali, il riscaldamento residenziale e la produzione di energia elettrica consumano quantità ingenti di combustibili fossili (a base di idrocarburi o carbone). In particolare, i trasporti consumano principalmente

i derivati del petrolio, per la generazione di elettricità si usa molto il carbone, per le attività industriali in misura paragonabile petrolio e gas naturale (metano CH_4 , ad esempio).³ Quest'ultimo è molto sfruttato nel riscaldamento residenziale. I gas e il particolato che vengono immessi principalmente nell'atmosfera, a seguito delle attività umane sono di seguito passati in rassegna.

Si segnalano le emissioni gassose primarie, secondarie e il particolato primario e secondario. Partiamo dai gas primari, quelli direttamente emessi nell'atmosfera da attività umane.

Emissioni gassose primarie

Metano (CH_4)

A seguito dell'estrazione e della distribuzione del metano per la produzione di energia, si possono avere perdite significative di questo gas nella troposfera. Anche le discariche di rifiuti sono fonti di metano, a seguito di processi fermentativi

anaerobici (in assenza di ossigeno) a opera di batteri, che portano alla formazione del cosiddetto biogas. Anche microorganismi coinvolti nei processi digestivi del bestiame producono metano; conseguentemente il settore agricolo che coinvolge

2 Lo strato di aria che si estende a partire da 18 km dalla superficie della terra fino a circa 50 km.

3 U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov>.

l'allevamento di bestiame, contribuisce a immettere quantità significative di tale gas nell'atmosfera. Il metano ha un importante effetto serra e la sua immissione nell'atmosfera ha contribuito a incrementare il fenomeno del surriscaldamento globale. Infatti, un accumulo, oltre misure di gas serra nell'atmosfera esaspera il processo di assorbimento e riemissione di radiazione infrarossa, con conseguente sviluppo di calore.

È ben noto che il metano ha un effetto serra più importante dell'anidride carbonica. Infatti, l'indice di impatto sul riscaldamento del pianeta

(Global Warming Potential – GWP) del metano è 23 volte più elevato rispetto alla CO_2 . Tale indice tiene conto dell'efficacia con cui il gas assorbe la radiazione infrarossa, del suo tempo di residenza nell'atmosfera ma non della quantità con cui è presente. Vista la maggiore facilità con cui si può rimuovere il metano dall'atmosfera (esso ha un tempo di residenza nell'atmosfera di 10-15 anni) e il suo significativo effetto serra, gli esperti suggeriscono di concentrare l'attenzione su tale gas per potere avere un significativo miglioramento del problema nei prossimi 25 anni.

Anidride carbonica (CO_2)

Il principale prodotto che si origina dal consumo di combustibili fossili, di cui le attività umane fanno un gran uso, è l'anidride carbonica. Tale gas, pur avendo il più basso indice GWP tra quelli emessi, è talmente

abbondante da preoccupare gli esperti in merito agli sconvolgimenti climatici dovuti al riscaldamento globale. Inoltre, l'anidride carbonica rimane residente nell'atmosfera per migliaia di anni.

Monossido di carbonio (CO)

Tale gas, molto pericoloso per gli organismi che trasportano ossigeno molecolare alle cellule tramite sistemi bioinorganici quali l'emoglobina per esempio, viene prodotto in discreta quantità, a seguito della combustione di materiale fossile in carenza di ossigeno molecolare (O_2). Ciò accade

nei motori a scoppio e nelle stufe a combustione. Nel secondo caso, il pericolo per la salute è molto più rilevante poiché il CO (incolore e inodore) una volta accumulatosi nell'ambiente chiuso di una abitazione si concentra e causa avvelenamento mortale.

Ossidi di azoto (NO_x)

La produzione di energia attraverso l'utilizzo di combustibili fossili necessita di reazioni di combustione che normalmente hanno luogo ad alta temperatura. A questa temperatura, l'azoto dell'aria (N_2) si combina con l'ossigeno (O_2) per produrre gli ossidi di azoto. Nei motori a combustione il 98% di tali ossidi è

costituito da NO (monossido di azoto), la rimanente parte è costituita dal biossido di azoto (NO_2). Quest'ultimo è molto pericoloso per il sistema respiratorio degli umani. Dall'industria dei fertilizzanti, basata sulla produzione di acido nitrico, si ottengono quantità rilevanti di NO e N_2O (ossido di diazoto o protossido di azoto)

come prodotti secondari. N_2O mostra un importante effetto serra con un indice

GWP di circa 300 (contro 23 per metano e 1 per CO_2).

Ossidi di zolfo (SO_x)

I combustibili fossili contengono sempre zolfo, in misura variabile a seconda del giacimento da cui vengono estratti. I combustibili ad alto tenore di zolfo producono discrete quantità di ossidi di zolfo (SO_2 e SO_3).

Questi gas, a parte essere nocivi per l'apparato cardiocircolatorio, sono i precursori di alcune delle sostanze che costituiscono il particolato secondario, trattate di seguito nel testo.

Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Questa classe di composti il cui capostipite è il benzopirene, assieme al benzene, hanno origine dalle benzine e rappresentano una famiglia di molecole refrattarie alla combustione e perciò più facilmente emessa nell'atmosfera

dai veicoli a combustione. Permangono nell'atmosfera per circa tre anni, hanno caratteristiche lipofile ed è dimostrato un loro accumulo nei tessuti adiposi degli organismi viventi. Sono pericolosi per documentati effetti cancerogeni.

Diossine

Le diossine, in particolare la capostipite 2,3,7,8-tetracloro dibenzo-p-diossina (TCDD) vengono prodotte a seguito dell'incenerimento dei rifiuti organici in presenza di materie plastiche contenenti

cloro, ad esempio il polivinilcloruro (PVC) contenuto nei sacchetti di plastica. Le diossine hanno documentate proprietà cancerogene e la loro pericolosità è analoga a quella degli IPA.

Clorofluorocarburi (CFC)

Sono sostanze perlopiù gassose utilizzate verso la fine del secolo scorso come gas refrigeranti per frigoriferi, condizionatori e come propellenti. I CFC, immessi abbondantemente nell'atmosfera, hanno due effetti principali: i) un importante effetto serra (indice GWP = fino a 10.600) e ii) riducono lo spessore dello strato di ozono della stratosfera. In particolare, queste molecole a contatto con la radiazione UV del sole reagiscono fotochimicamente producendo atomi di cloro. Tali atomi, reagiscono a loro volta con la molecola di ozono, consumandola. La riduzione dello strato

d'ozono (il famoso buco nello strato di ozono) ha avuto importanti effetti sulla salute umana. Infatti, in deficit di tale molecola parte delle radiazioni UV ad alta energia (a lunghezza d'onda minore di 300 nm) arrivano sulla terra ed entrano in contatto con la nostra epidermide, per esempio, procurando a seguito di una prolungata esposizione tumori alla pelle. L'uso dei CFC è stato bandito nel mondo occidentale a partire dal 1996. I CFC sono stati sostituiti dai HFC (il cloro è stato sostituito da idrogeno) che seppur innocui nei confronti dell'ozono, rimangono gas a effetto serra.

Emissioni gassose secondarie

Tali emissioni costituiscono lo smog fotochimico e sono il prodotto di reazione fotochimica tra i gas primari (tipicamente NO_x e i composti organici volatili a base di carbonio e idrogeno emessi dai veicoli di trasporto) e la radiazione solare. I principali costituenti dello smog

fotochimico sono due: la molecola di ozono (O_3) e i perossiacetilnitrati (PAN). Queste sostanze sono particolarmente irritanti per gli occhi e per l'apparato respiratorio umano. L'ozono inoltre ha un impatto negativo anche sull'ecosistema e la vegetazione.

Particolato primario

È costituito dalle polveri che vengono immesse direttamente nell'atmosfera dalle attività umane e naturali. Il particolato primario a seguito di fenomeni naturali è dovuto ad esempio, a eruzioni vulcaniche, a spore batteriche, al polline e alle polveri derivanti da fenomeni erosivi di rocce. Normalmente le polveri emesse da tali attività naturali sono piuttosto grossolane, con una dimensione media di 10 micrometri⁴ (polveri PM10). Per tale motivo, tali polveri non penetrano

in profondità nell'apparato respiratorio umano e vengono ben trattenute a livello di naso e faringe. Il particolato primario derivante dalle attività umane invece ha dimensioni molto più ridotte, inferiori a $0,1 \mu\text{m}$ (PM01). Tale particolato molto fine può raggiungere pure gli alveoli polmonari ed entrare nel sistema circolatorio sanguigno. Processi quali, traffico veicolare, processi produttivi e di riscaldamento immettono quantità non trascurabili di tale particolato.

Particolato secondario

Grazie a fenomeni chimico-fisici che avvengono nell'atmosfera, il particolato primario evolve in particolato secondario. Tra i fenomeni fisici ricordiamo la coagulazione e la condensazione di vapori a dare particelle composite di dimensione maggiore. Tra i fenomeni chimici ricordiamo invece la combinazione dei vapori come NO_x e SO_x con le goccioline di acqua disperse in atmosfera a dare acido nitrico (HNO_3) e solforico (H_2SO_4), rispettivamente. Si forma un particolato secondario che prende il nome di *droplets*, che può crescere di dimensione a seguito di un ulteriore processo coagulativo. Queste goccioline a base acquosa a carattere acido hanno un importante impatto non

solo per le opere umane, quali gli edifici, i monumenti e i materiali metallici, ma hanno importanti conseguenze per l'ecosistema. Ad esempio, le foglie delle piante subiscono un danneggiamento e il suolo, che diventa acido, è così in grado di sciogliere i nutrienti per le piante che quindi non risultano più accessibili alle radici. Inoltre, la produzione in ambiente acido dello ione alluminio libero rappresenta un ulteriore problema per le piante, per le quali questo costituisce una sostanza tossica. Infine, nel caso delle *droplets* a base di acido solforico si deve segnalare il fenomeno della solfatazione dei carbonati contenuti nelle rocce delle nostre montagne (Dolomiti, in particolare). A seguito di

⁴ 1 micrometro (μm) = 10^{-6} m.

tale processo, si verifica il fenomeno di dilavamento delle rocce che si frantumano e con l'ausilio dell'acqua vengono erose.

Sebbene il particolato secondario rappresenti una sorta di evoluzione anche dimensionale del particolato primario, le dimensioni in gioco

rimangono sopra la soglia di pericolo. Il particolato secondario, di dimensione media non superiore a $1\ \mu\text{m}$ (PM1), può infiltrarsi in profondità nell'apparato respiratorio. Il particolato è anche un importante vettore di virus, batteri e di vapori o sostanze tossiche per la salute umana.

Tossicità a confronto ed evoluzione temporale delle emissioni

In una scala relativa in cui il monossido di carbonio ha indice 1 di tossicità, gli idrocarburi volatili rilasciati in atmosfera dal traffico veicolare hanno indice 2, gli ossidi di zolfo indice 28 e quelli di azoto 78. Il pericolo numero uno per la salute umana è comunque il particolato fine, in particolare le polveri sottili con dimensione molto ridotta ($\text{PM} < 1$).

Dal Novecento ad oggi, le emissioni di gas a effetto serra sono aumentate in continuazione, anche se la vera impennata in tali emissioni è avvenuta dal 1970 in poi e in particolare riguarda l'emissione di CO_2 . Ciò vuol dire che la quantità di combustibili fossili impiegata per la produzione di energia è aumentata in maniera esponenziale a partire da tale anno.⁵

Dal 1990 ad oggi, tra i gas serra emessi solo l'anidride carbonica ha un trend in deciso aumento.⁶ La composizione media in volume della miscela di gas serra presente in atmosfera è: CO_2 (85%); N_2O (8%); CH_4 (6%); $\text{CFC} + \text{HFC} + \text{SF}_6 + \text{O}_3$ (1%). L'impatto di ogni componente di questa miscela nel determinare un riscaldamento globale è commisurato all'indice GWP sopra discusso. In particolare, la CO_2 impatta per il 52%, il metano per il 17%, l'ozono per il 13%, la miscela $\text{CFC} + \text{HFC} + \text{SF}_6$ per il 13% e N_2O per il 5%.⁷ Gas nocivi come SO_x e NO_x registrano emissioni in netto calo già a partire dagli anni Ottanta dello scorso secolo ma tale diminuzione risulta essere meno decisa negli ultimi anni.⁸

Strategie di controllo e di riduzione delle emissioni

Tra le molteplici strategie di controllo messe in atto, quelle più significative saranno brevemente illustrate in questo paragrafo. Per il trattamento del particolato molte aziende si sono dotate di 'cicloni', che sono macchinari in grado di separare il particolato di un

gas inquinato in entrata, restituendo aria pulita in uscita. Molte aziende si sono munite di questo accessorio a valle dell'apparato di emissione. Per evitare emissioni ricche di SO_x una possibile adeguata soluzione è l'impiego di sistemi di desulfurizzazione del combustibile.

5 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australian Government. <https://www.csiro.au>.

6 Rhodium group. <https://rhg.com/>.

7 IPCC – Focal Point Italia. <https://www.cmcc.it/>.

8 Fonte per SO_x : IIASA (www.iiasa.ac.at); fonte NO_x : NAEI (National Atmospheric Emissions Inventory; <https://naei.beis.gov.uk/overview/index>).

Per gli ossidi di azoto, un'interessante soluzione è rappresentata dalla conversione degli NO_x prodotti durante la combustione in ammoniaca, tramite l'impiego di catalizzatori e idrogeno a una certa temperatura. Il controllo delle emissioni di CO_2 è un problema molto sentito. L'attuale strategia che consente di ridurre le emissioni di tale gas è definita 'cattura e sequestro del diossido di carbonio' (CCS) grazie alla quale la CO_2 prodotta da combustioni non viene rilasciata nell'atmosfera ma viene confinata e stoccata nell'impianto che l'ha prodotta.

Chiaramente, per risolvere questo problema globale riguardante le emissioni antropiche nell'atmosfera è necessario uno sforzo globale. Bisogna che scienziati e politici si mettano insieme, nel tentativo di produrre una soluzione credibile ed efficace a questo problema. Nuove tecnologie e nuovi combustibili devono essere impiegati tenendo conto non solo del rapporto costi/benefici ma anche, e forse principalmente, della salute del nostro pianeta, che include l'intero ecosistema che comprende tutti gli esseri che lo abitano. In tal senso, proposte affascinanti sulle quali riversare le nostre speranze sono rappresentate dalle fonti di energia rinnovabile. Il petrolio, come capostipite dei combustibili fossili, non è una fonte rinnovabile e quindi va sostituito al più presto. Non solo, l'uso del petrolio inquina l'aria, inquina il nostro pianeta. Sono invece promettenti fonti di energia rinnovabile: i) il fotovoltaico, che sfruttando l'energia solare per produrre altra energia, è una fonte che

si esaurirà solo quando la stella sole cesserà di vivere.; ii) la combustione di idrogeno molecolare (H_2) a dare acqua, che non contenendo carbonio non produrrebbe CO_2 , con tutti i vantaggi che questo comporta. Inoltre, potendo potenzialmente essere ottenuto dall'acqua può essere considerato un combustibile rinnovabile. Infatti, l'idrogeno potrebbe essere riottenuto dal prodotto della sua combustione, l'acqua appunto. L'uso di batterie, almeno nell'ambito del trasporto veicolare, sarebbe una buona soluzione al problema ambientale delle emissioni, anche se la gestione e lo smaltimento delle batterie esauste sarebbe un argomento di cui tenere conto. Altre possibili soluzioni potrebbero riguardare il contenimento dei consumi e/o il miglioramento tecnologico per rendere più efficienti i processi di conversione energetica.

Tecnologie quali il fotovoltaico e l'impiego di idrogeno come combustibile sono ancora piuttosto costose, tanto che una loro massiccia industrializzazione non risulta ancora sostenibile. Per arrivare a un abbassamento dei costi di produzione, la ricerca scientifica ha un ruolo cruciale: individuare processi produttivi di idrogeno e di impianti fotovoltaici a costi ridotti. I governi degli stati mondiali dovrebbero avere come priorità il finanziamento della ricerca scientifica. Non solo la ricerca porta progresso e quindi benessere ma può brillantemente risolvere problemi come quello trattato in questo contributo, che minacciano la vita dell'intero pianeta terra e di chi lo abita.

Bibliografia

Holland, H.D. (2006). «The Oxygenation of the Atmosphere and Oceans». *The Philosophical Transaction of the Royal Society B*, 361, 903-15. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1578726/pdf/rstb20061838.pdf>.

Verde urbano e qualità dell'aria per città più vivibili

I dati sulla qualità dell'aria: l'inquinamento atmosferico decresce troppo lentamente

L'emergenza dell'inquinamento dell'aria nelle città italiane è sempre più pressante.

La qualità dell'aria che respiriamo è essenziale per tutelare la salute pubblica e il rispetto dei limiti normativi fissati dall'Unione europea è la condizione necessaria, ma non sufficiente, per la salubrità dell'ambiente urbano. Infatti, le soglie fissate dalla Commissione europea per il 2030¹ (non quelle attuali, che sono molto meno stringenti) sono ancora significativamente più alte rispetto ai valori indicati dall'OMS – Organizzazione Mondiale della Sanità (Commissione europea 2022).

I dati pubblicati nel 2023 da Legambiente (Minutolo, Frasso, Pandolfo 2023) e da Ispra – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2023) restituiscono un quadro critico, spesso molto critico, della qualità dell'aria di molte città italiane.

Osservando i valori dei principali inquinanti dell'aria registrati nell'anno 2022 emerge una situazione di diffusa violazione dei limiti normativi per gli sforamenti delle polveri sottili PM10 e PM2.5 (stabilito in 35 giorni in un anno, in cui è stata registrata una concentrazione media giornaliera di polveri superiore a 50 µg/mc, come previsto dalla normativa vigente), del biossido di azoto e di altre sostanze inquinanti.

In sintesi, i dati dimostrano che:²

- 29 città su 94 di cui è disponibile il dato (sono escluse le principali città delle Regioni Abruzzo, Basilicata e Campania) hanno più che doppiato il limite di 35 giorni di sforamento previsti per il PM10: Torino (98 sforamenti), Milano (84), Asti (79), Modena (75), Padova e Venezia (70). Inoltre il 76% delle 94 città monitorate, quindi 72 città su 94,

¹ Grazie alla *Direttiva del Parlamento europeo* (Commissione europea 2022) ha preso avvio il processo che porterà ad aggiornare i valori limite della qualità dell'aria nell'Eurozona. Attualmente il Consiglio sta avviando i colloqui con il Parlamento europeo per la negoziazione della proposta in materia di qualità dell'aria da conseguire entro il 2030 e avvicinare l'UE all'obiettivo inquinamento zero entro il 2050.

² Tutti i dati elencati di seguito sono ricavati da Commissione europea 2022, 4-5.

superano i limiti previsti della futura direttiva³ della qualità dell'aria che dimezza la concentrazione media annuale ammissibile, dagli attuali 40 µg/mc ai 20 µg/mc previsti al 2030;

- 71 città su 85 di cui è disponibile il dato, hanno registrato valori superiori a quelli previsti dalla prossima direttiva del 2030 che riduce il valore limite da 25 µg/mc a 10 µg/mc: Monza (25 µg/mc), Milano, Cremona, Padova e Vicenza (23 µg/mc), Alessandria, Bergamo, Piacenza e Torino (22 µg/mc), Como (21 µg/mc);
- 57 città su 94, pur non superando gli attuali limiti di legge per il biossido di azoto (NO₂), hanno registrato concentrazioni superiori del 40% rispetto al limite di 20 µg/mc a partire dal 2030: Milano (38 µg/mc), Torino (37 µg/mc), Palermo e Como (35 µg/mc), Catania (34 µg/mc) e poi Roma, Monza, Genova, Trento e Bolzano.

Questi valori evidenziano che nei prossimi sei anni sarà necessario attuare politiche e azioni di riduzione dell'inquinamento atmosferico urbano molto efficaci per riuscire a raggiungere i nuovi obiettivi della CE, nonostante l'andamento delle concentrazioni di inquinanti nelle città italiane decresca, ma troppo lentamente.

Legambiente dichiara che «la ricetta per le città italiane è già scritta, mancano ancora gli ingredienti per poterla realizzare» (Minutolo, Frasso, Pandolfo 2023, 6-8) elencando le principali proposte per il raggiungimento delle soglie massime:

1. introduzione delle ZEZ-Zero emission zone al posto delle ZTL-Zone traffico limitato;
2. LEZ-Low emission zone per il riscaldamento degli edifici (che implica una massiccia riqualificazione energetica dello stock edilizio e degli impianti);
3. potenziamento del TPM-Trasporto pubblico di massa (potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria, metropolitana e viaria, includendo il parco mezzi),
4. sharing mobility (mobilità elettrica condivisa e realizzazione di ciclovie, predisponendo programmi di incentivazione della mobilità attiva bike-to-work, bike-to-school),
5. spazio pubblico urbano a misura d'uomo (città 15 minuti, città 30 all'ora),
6. tutto elettrico in città.

L'inquinamento degli edifici: valori e tendenze

È opinione diffusa che l'inquinamento atmosferico urbano sia causato in buona misura dai mezzi di trasporto circolanti, in particolare dai veicoli di proprietà individuale ossia le autovetture, i motocicli e i ciclomotori.

In effetti l'attuale sistema di mobilità (privato e pubblico) incide per quasi un quarto delle emissioni di gas serra in Europa, e abitudini e scelte di mobilità

quotidiane differenti possono generare una rilevante riduzione dei volumi di emissioni di inquinanti migliorando la qualità dell'aria, oltre che la sicurezza del traffico urbano. Per questo motivo, in coerenza con il Green Deal, l'Unione europea ha programmato per il periodo 2021-27 importanti interventi di collaborazione con le città (fondi SIE, PON Metro) per sostenere forme di

3 Cf. nota 1.

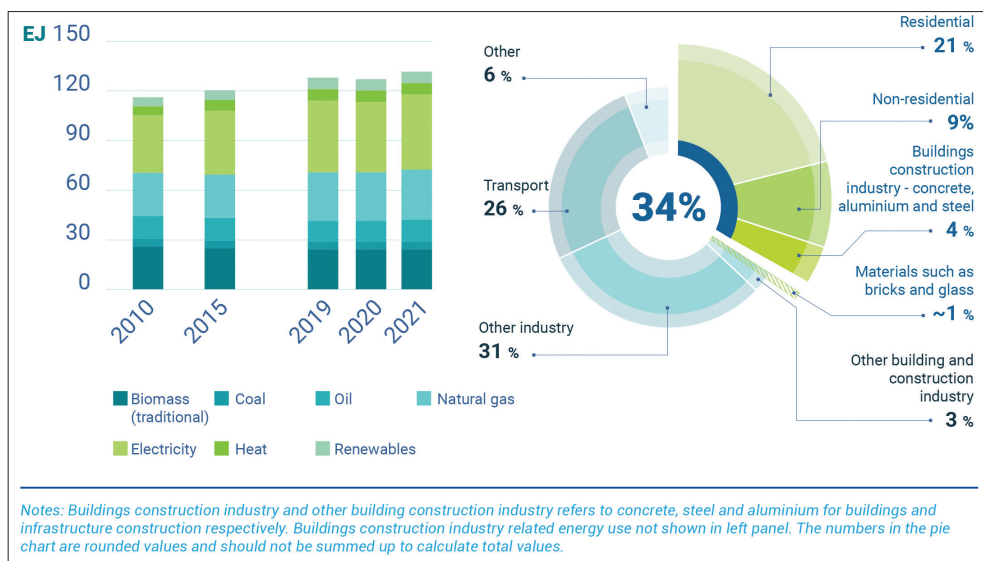


Grafico 1 Consumo di energia in edifici per combustibile negli anni 2010-2021 a sinistra e quota percentuale di consumi di energia in edifici nel 2021 a destra. Fonte: UNEP 2022, 41 e International Energy Agency 2022

trasporto privato e pubblico più pulite, più economiche, più sane e, in generale, una maggiore decarbonizzazione del settore energetico attraverso alcune strategie in corso di sperimentazione in molte città europee, fra cui la mobilità a emissioni 0, la mobilità lenta e sharing, la digitalizzazione della mobilità e la mobilità resiliente.

Per comprendere gli impatti sull'inquinamento atmosferico derivati dalle attività umane, in particolare l'uso di energia da parte degli edifici e del settore delle costruzioni, ci viene in aiuto il Report 2022 sullo stato degli edifici e delle costruzioni delle Nazioni Unite (UNEP 2022) che mette in correlazione vari dati sui consumi energetici per settori.

Dal grafico 1 si evince che la quota percentuale di consumi energetici 'in edifici' è pari al 34% dei consumi energetici totali. È importante leggere i valori di dettaglio: i consumi energetici per lo stato di esercizio degli edifici residenziali (per riscaldamento

e raffreddamento, riscaldamento dell'acqua, illuminazione, cottura e altri usi domestici) corrispondono al 21% del totale, mentre quelli degli edifici non residenziali al 9%; tutta l'industria delle costruzioni ('concrete, aluminium, steel; bricks, glass; other building construction industry') consuma l'8%, mentre il resto dell'industria ('other industry') il 31% dell'energia totale. I consumi energetici dell'intero settore dei trasporti, relativo al trasporto di persone e merci, è pari al 26% del totale, quindi 8 punti percentuali in meno rispetto ai consumi di energia in edifici e industria delle costruzioni.

In sostanza la domanda di energia per lo stato di esercizio degli edifici residenziali e non residenziali è pari al 30% ed è cresciuta a 135 EJ, che è un aumento di circa il 4% dal 2020 e supera il precedente picco del 2019 del 3% (International Energy Agency 2022). Confrontando il grafico 1 con il grafico 2, si rileva una capacità di emissioni di CO₂ del settore costruzioni superiore rispetto ai settori

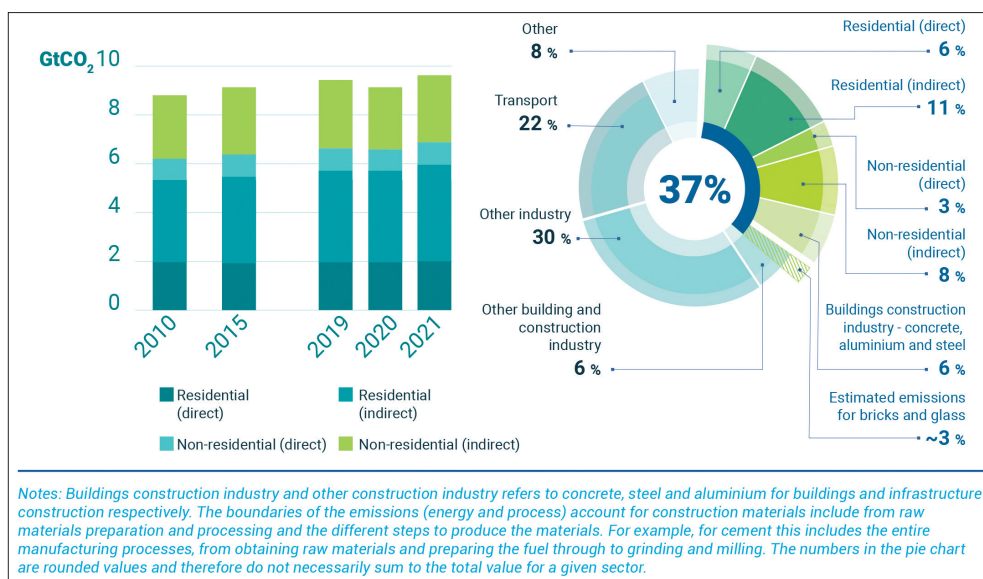


Grafico 2 Emissioni di CO₂ in edifici nel periodo 2010-21 a sinistra e quota percentuale di energia globale e di emissioni di processo in edifici nel 2021 a destra. Fonte: UNEP 2022, 42 e International Energy Agency 2022

del resto dell'industria e dei trasporti, infatti, a fronte di un consumo energetico del 34% del totale, le emissioni di CO₂ in edifici corrispondono al 37% del totale. Emerge che il settore edifici non residenziali e l'industria delle costruzioni emettano proporzionalmente più CO₂ rispetto ai consumi del settore degli edifici residenziali e questo dato appare comprensibile se si pensa agli impianti e ai processi produttivi dei materiali edilizi che necessitano di temperature elevatissime durante il ciclo produttivo (cemento, laterizi, metalli), per cui l'uso di combustibili fossili e gas risulta favorevole.

L'IEA – Agenzia internazionale dell'energia stima l'aumento di

emissioni di CO₂ al maggiore utilizzo di combustibili fossili sia nelle economie avanzate che in quelle emergenti, con una maggiore incidenza di queste ultime (2022).

La situazione attuale non è affatto incoraggiante: in sostanza, il settore edilizio è fuori strada rispetto alla decarbonizzazione entro il 2050!

In Europa questo settore rappresenta il 40% della domanda energetica, di cui l'80% proveniente dai combustibili fossili; ciò lo rende un'area che necessita azione immediata, investimenti e politiche per promuovere la sicurezza energetica a breve e lungo termine.

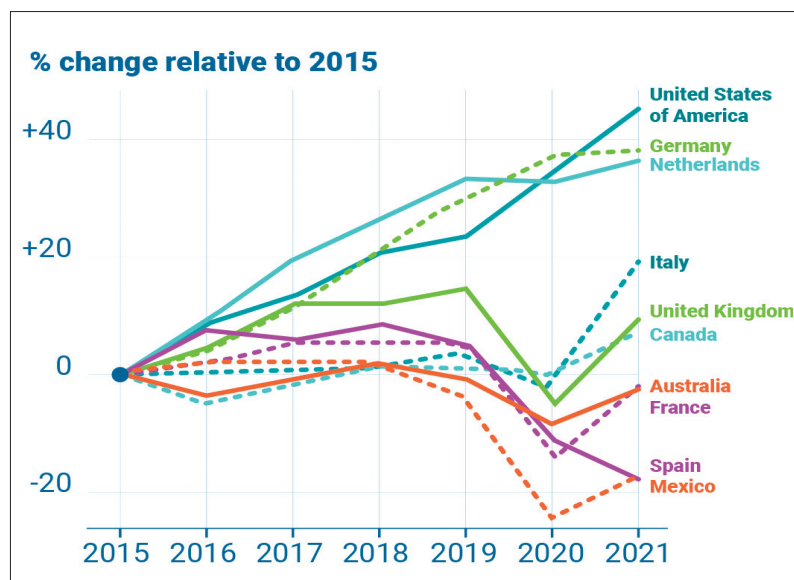


Grafico 3
Variazione delle attività relative alle costruzioni in una selezione di Paesi del G20 negli anni 2015-21, rispetto all'anno 2015.
Fonte: UNEP 2022, 38

Uno sviluppo basato sulla conquista di suolo naturale

Viene spontaneo chiedersi come mai, a tanti anni di distanza dall'emanazione e dall'applicazione di leggi e norme per il contenimento dei consumi energetici degli edifici e dopo un'evoluzione tecnologica che ha reso sempre più efficienti macchine e impianti, le costruzioni siano ancora così energivore e inquinanti.

Il Report 2022 sullo stato degli edifici e delle costruzioni delle Nazioni Unite ci dà una risposta inequivocabile:

nel 2021, gli investimenti nell'efficienza energetica degli edifici sono aumentati a livelli senza precedenti: del 16% nel 2021 rispetto ai livelli del 2020, a 237 miliardi di dollari. L'intensità energetica degli edifici (cioè il consumo totale di energia legato a riscaldamento, raffrescamento, elettrodomestici) per metro quadrato è rimasta

invariata negli ultimi tre anni a circa 150 kWh/mq. Il problema è stato la crescita delle superfici costruite che ha superato gli sforzi per l'efficienza. L'aumento della superficie globale edificata tra il 2015 e il 2021 è equivalente alla superficie totale coperta da edifici in Germania, Francia, Italia e Paesi Bassi: se fosse un edificio costruito su un unico livello, a circa 24.000 km². Questa crescita ha fatto sì che nel 2021 la domanda operativa di energia per riscaldamento, raffreddamento, illuminazione e apparecchiature negli edifici sia aumentata di circa il 5% dal 2020 e del 3% dal 2019: dieci miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente, un record assoluto secondo l'UNEP. Per l'80% questi consumi hanno fatto ricorso a fonti fossili.

La situazione qui descritta è confermata dai dati pubblicati dall'Ispira sul consumo di suolo in Italia (Munafò 2021): per l'ennesimo anno consecutivo, nel 2022, il consumo di suolo in Italia è aumentato del 7,14%.

Il consumo di suolo continua a trasformare il territorio nazionale con velocità elevate e crescenti. Nell'ultimo anno [2022], le nuove coperture artificiali hanno riguardato altri 76,8 km², il 10,2% in più del 2021. Si tratta, in media, di più di 21 ettari al giorno, il valore più elevato degli ultimi 11 anni, in cui non si erano mai superati i 20 ettari. La crescita delle superfici artificiali ha interessato 2,4 m² di suolo ogni

secondo ed è stata solo in piccola parte compensata dal ripristino di aree naturali, (che ha riguardato 6 km², per lo più associati al recupero di aree di cantiere o di altro suolo consumato reversibile), facendo risultare ancora lontano l'obiettivo di azzeramento del consumo di suolo netto, che, negli ultimi dodici mesi, è invece risultato pari a 70,8 km².

Secondo l'ultimo rapporto Ispira, ogni secondo l'Italia perde quasi 2,2 m² di superfici naturali e agricole per effetto della costruzione di edifici, strade, centri commerciali e logistici, capannoni industriali e altri manufatti a copertura artificiale e impermeabile (Munafò 2021).

Il ruolo del verde urbano e del verde tecnico per la qualità dell'aria nelle città

Le NbS, Nature based Solutions, sono soluzioni (sistemi, tecnologie) che impiegano la natura (intesa come l'insieme di componenti, funzioni e processi che le sono propri) per favorire la resilienza delle città, del territorio e del mare, favorendo la biodiversità e supportando una vasta gamma di servizi ecosistemici (Giacomello et al. 2023).

La Commissione europea le definisce come:

soluzioni ispirate e supportate dalla natura, che sono convenienti, forniscono contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e aiutano a costruire la resilienza. Tali soluzioni portano natura, caratteristiche e processi naturali

sempre più diversificati nelle città, nei paesaggi terrestri e in quelli marini, attraverso interventi adattati localmente, efficienti sotto il profilo delle risorse e dei sistemi.⁴

Da anni la CE investe risorse economiche crescenti nella ricerca e nelle politiche di integrazione delle NbS essendo stati dimostrati molti vantaggi ambientali derivanti dalla loro diffusione, fra cui l'adattamento ai cambiamenti climatici, la riduzione del rischio di disastri naturali, l'incremento della biodiversità e innumerevoli benefici indiretti strategici per la qualità della vita delle persone nell'ambiente antropizzato.

L'integrazione della vegetazione in ambiente urbano, nei modi e

⁴ European Commission, *Nature-Based Solutions*. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en.



Figura 1 La vegetazione può ricoprire gli edifici grazie alla presenza di piante rampicanti con apparato radicale posto alla base, secondo un sistema che possiamo definire low-tech, oppure può rivestire le superfici ponendosi direttamente su queste, con piante di vari tipi, il cui apparato radicale è collocato sulle superfici stesse, con un sistema high-tech

nelle forme che sono possibili, data l'elevata densità edilizia delle città italiane, rappresenta una contromisura giudicata efficace per il miglioramento della qualità dell'aria: le piante sono produttori primari e quindi producono composti organici dalla CO_2 liberando O_2 . Quindi, laddove ci sia vegetazione avviene lo scambio gassoso a noi favorevole. Forse il 'guadagno gassoso' è il vantaggio meno significativo per l'ambiente urbano, infatti altri benefici derivanti dalla presenza delle piante impattano in modo importante sulla qualità dell'aria.

Di seguito vengono citati alcuni fra i principali benefici che derivano dall'impiego delle NbS e della vegetazione in città:

1. uso di energia solare e mitigazione dell'isola di calore urbana: grazie all'evapotraspirazione (funzione vegetale che determina il passaggio di fase dell'acqua dallo stato liquido allo stato gassoso verso l'atmosfera) le superfici invedite sono 'superfici fredde'. Il fatto che la vegetazione abbia temperature inferiori a quelle delle superfici degli edifici e delle pavimentazioni stradali, soprattutto quelle asfaltate, riduce l'apporto termico all'ambiente – per irraggiamento, convezione o conduzione – migliorando il

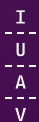
- comfort urbano e limitando il fenomeno dell'isola di calore;
2. ombreggiamento: le temperature all'interno dei centri urbani risultano più alte rispetto alle zone limitrofe e alle campagne a causa della cementificazione e della presenza di ampie superfici asfaltate, pavimentate e impermeabilizzate che si surriscaldano. Questo problema si manifesta soprattutto nel periodo estivo e può essere mitigato dalla presenza di alberi che riducono le temperature dei materiali edilizi attraverso l'ombreggiamento. Inoltre, le alberature poste in prossimità delle superfici vetrate degli edifici e le piante rampicanti o decumbenti a diretto contatto con le facciate possono costituire un sistema di ombreggiamento e schermatura solare naturale (Tatano 2008). Selezionando alberi e piante a foglia caduca, la presenza di questi sistemi durante il periodo invernale consente il passaggio della radiazione solare;
 3. assorbimento di polveri sottili: le piante hanno la capacità di trattenere tramite le foglie, il tronco e le ramificazioni un'importante quantità di particolato atmosferico e sostanze inquinanti oltre a produrre ossigeno attraverso la fotosintesi clorofilliana. Parchi urbani, ma anche alberi collocati lungo le strade, terrazze piantumate e tetti giardino svolgono un ruolo importante nell'assorbimento degli inquinanti presenti in ampie concentrazioni nell'ambiente urbano;
 4. regimazione idrica, in funzione con il suolo drenante: l'acqua meteorica assorbita dalle superfici vegetate, inclusi i tetti verdi (Musacchio, Tatano 2014), non viene conferita al sistema di drenaggio urbano, con considerevoli vantaggi gestionali e di riduzione della pericolosità nel caso di piogge intense e prolungate (Giacomello 2011);
 5. amenità della città, funzionalizzazione degli spazi aperti, impatti sulle attività sociali-sportive-ricreative: l'integrazione della vegetazione nelle aree urbane contribuisce a rendere più vivibili gli spazi aperti pubblici garantendo un ambiente più bello, vivibile e salubre, facilmente utilizzabili per lo sport, il gioco, l'incontro sociale, il godimento dello spazio pubblico in varie forme.

Bibliografia

- Commissione europea (2022). *Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/it/txt/html/?uri=celex:52022pc0542>.
- Minutolo, A.; Frasso, C.; Pandolfo, E. (2023). «Mal'Aria di città. Cambio di passo cercasi». *Legambiente*. <https://www.legambiente.it/rapporti-e-osservatori/malaria-di-citta/>.
- UNEP (United Nation Environment Programme) (2022). «Global Status Report for Buildings and Construction». <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>.
- International Energy Agency (2022). *Tracking Buildings 2022*. Paris: International Energy Agency. <https://globalabc.org/index.php/resources/publications/iea-tracking-report-buildings>.
- Munafò, M. (a cura di) (2021). «Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, Edizione 2021. Report SNPA 22/21». www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2022/07/it_Sintesi_Rapporto_consumo_di_suolo_2022.pdf. Ultimo accesso 15/01/2024.
- Giacomello, E. et al. (a cura di) (2023). *Le NbS-Nature based-Solutions per l'architettura e la città = L'approccio prestazionale alle tecnologie vegetate. Atti della conferenza* (Venezia, Università Iuav di Venezia, 13 ottobre 2023). Milano: FrancoAngeli.
- Tatano, V. (a cura di) (2008). *Verde: naturalizzare in verticale*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Musacchio, A.; Tatano, V. (2014). *Tetti giardino. Storia, tecnica, progetto*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli.
- Giacomello, E. (2012). *Copertura a verde e risorsa idrica. Implicazioni tecnologiche e benefici per l'ambiente urbano*. Milano: FrancoAngeli.



Università
Ca' Foscari
Venezia



Università Iuav
di Venezia



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



UNIVERSITÀ
di **VERONA**