

a cura di / edited by

Mario Losasso
Maria Teresa Lucarelli
Marina Rigillo
Renata Valente

Adattarsi al clima che cambia. Innovare la conoscenza per il progetto ambientale
Adapting to the Changing Climate. Knowledge Innovation for Environmental Design
 a cura di / edited by Mario Losasso, Maria Teresa Lucarelli, Marina Rigillo, Renata Valente

Adattarsi al clima che cambia
Innovare la conoscenza per il progetto ambientale

Adapting to the Changing Climate
Knowledge Innovation for Environmental Design

978-88-916-4318-6



9 788891 643186

€ 38,00

TECNOLOGIA
STUDI E PROGETTI
49

ARCHITETTURA
INGEGNERIA
SCIENZE



politecnica

MAGGIOLI
EDITORE

Book series STUDI E PROGETTI

Adattarsi al clima che cambia
Innovare la conoscenza per il progetto ambientale

Adapting to the Changing Climate
Knowledge Innovation for Environmental Design

a cura di / edited by

Mario Losasso
Maria Teresa Lucarelli
Marina Rigillo
Renata Valente


MAGGIOLI
EDITORE

Indice / Summary

9 Processi innovativi per l'adattamento climatico nella rigenerazione dei distretti urbani / Innovating Processes for Climate Adaptation in Urban District Regeneration

Mario Losasso

15 Progetto ambientale e sfida climatica / Environmental Design and Climate Challenge

Maria Teresa Lucarelli, Marina Rigillo, Renata Valente

Le parole della ricerca / The Research Terms

a cura di / editor *Martino Milardi*

24 Costruire un glossario per l'adattamento climatico / Editing a Glossary for Climate Adaptation

Martino Milardi

31 Cambiamento climatico / Climate Change, *Paola Mercogliano*

41 Hazard, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

47 Onda di calore / Heat Wave, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

51 Pluvial Flooding, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

55 Disaster Risk, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

61 Climate Sensitivity, *Carlo Donadio, Alberto Fortelli*

71 Indicatori di impatto / Impact Indicators, *Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella*

77 Vulnerabilità ai rischi naturali / Vulnerability to Natural Hazards, *Mattia Federico Leone*

83 Adattamento climatico e gestione del rischio / Climate Adaptation and Risk Governance, *Mattia Federico Leone*

89 Mitigazione climatica / Climate Mitigation, *Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella*

95 Resilienza / Resilience, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

99 Resilienza urbana / Urban Resilience, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

103 Resilience Management, *Rossella Rossi, Maria Vittoria Arnetoli*

107 Rigenerazione urbana / Urban Regeneration, *Alessandra Battisti, Gaia Turchetti*

113 Eco-Distretto / Eco-District, *Fabrizio Tucci, Serena Baiani*

123 Infrastrutture verdi / Green Infrastructure, *Elena Mussinelli, Matteo Gambaro, Raffaella Riva, Davide Cerati, Andrea Tartaglia*

127 Nature-Based Solution, *Elena Mussinelli, Matteo Gambaro, Raffaella Riva, Davide Cerati, Andrea Tartaglia*

131 Servizi ecosistemici / Ecosystem Services, *Elena Mussinelli, Matteo Gambaro, Raffaella Riva, Davide Cerati, Andrea Tartaglia*

135 Approccio bioclimatico / Bioclimatic Approach, *Valeria Cecafosso, Domenico D'Olimpio*

141 Efficienza energetica / Energy Efficiency, *Giuseppe Piras, Elisa Pennacchia*

145 Involucro/ Envelope, *Martino Milardi, Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella*

151 Climate Responsive Design, *Enza Tersigni*

157 Design Complexity, *Francesca La Rocca*

Dialogo / Dialogue

167 Riflessione intorno ai saperi per l'adattamento al clima / About the Climate Adaptation Knowledges

Martino Milardi, Rosario Giuffré

Misurare l'adattamento climatico / Estimating Climate Adaptation

a cura di / editor *Valeria D'Ambrosio*

- 172 Progetto *climate proof*: indicatori, controllo e monitoring / Climate Proof Project: Indicators, Control and Monitoring
Valeria D'Ambrosio
- 179 Biotope Area Factor (BAF), *Anita Bianco*
- 183 Riduzione Impatto Edilizio (RIE), *Eduardo Bassolino*
- 187 Digital Terrain Model (DTM), *Francesco Alberti, Giulia Guerri*
- 191 Sky View Factor (SVF), *Francesco Alberti, Giulia Guerri*
- 195 Urban Aspect Ratio, *Francesco Alberti, Giulia Guerri*
- 199 Albedo, *Eduardo Bassolino*
- 203 Indice di permeabilità / Permeability Index, *Roberto Bosco, Salvatore Cozzolino, Carlo Donadio*
- 207 Trasmittanza termica dinamica / Dynamic Thermal Transmittance,
Martino Milardi, Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella
- 211 Rapporto superficie opaca /trasparente / Opaque/Transparent Surface Ratio,
Martino Milardi, Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella
- 215 Interfaccia edificio - spazio aperto / Building - Open Space Interface,
Martino Milardi, Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella
- 219 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), *Romeo Di Pietro, Duilio Iamónico, Sandro Strumia*
- 223 Air Pollutant, *Elena Mussinelli, Roberto Bolici, Daniele Fanzini, Giovanni Castaldo, Andrea Tartaglia*
- 229 Indicatore di riduzione di CO₂ e CO₂eq / Indicator of CO₂ and CO₂eq Reduction,
Elena Mussinelli, Roberto Bolici, Daniele Fanzini, Giovanni Castaldo, Andrea Tartaglia
- 235 Greenhouse Gases, *Elena Mussinelli, Roberto Bolici, Daniele Fanzini, Giovanni Castaldo, Andrea Tartaglia*
- 241 Temperatura Media Radiante (TMR) / Mean Radiant Temperature (MRT), *Valeria Cecafosso*
- 245 Physiological Equivalent Temperature (PET), *Marco Cimillo*
- 249 Predicted Mean Vote (PMV), *Marco Cimillo*
- 253 Velocità del vento / Wind Speed, *Marco Cimillo*
- Dialogo / Dialogue
- 257 L'uso degli indicatori nel progetto ambientale / Use of Indicators in the Environmental Project
Federica Dell'Acqua, Norbert Kühn

Casi studio per l'adattamento agli effetti del cambiamento climatico / Case Studies for Climate Change Adaptation

a cura di/ editor *Renata Valente*

- 262 Esperienze di progetti ambientali multiscalari / Multi-scale Environmental Design Experiences,
Renata Valente
- 267 Il Piano di Adattamento Climatico di Barcellona 2018-2030 / Pla Clima de Barcelona 2018-2030, *Enza Tersigni*
- 273 La scelta green di Amburgo: “das Hamburger Klimaschutzkonzept 2011” / The Hamburg Green Option: “das Hamburger Klimaschutzkonzept 2011”, *Federica Dell'Acqua*
- 281 Approccio ecosistemico e soluzioni Nature-Based a Berlino: “StEP Klima 2016” / Ecosystem Approach and Nature-Based Solutions in Berlin: the “StEP Klima 2016”, *Federica Dell'Acqua*

- 289** Strumenti di pianificazione resiliente a Rotterdam / Resilient Planning Tools in Rotterdam,
Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella
- 295** La collaborazione istituzionale per il piano di adattamento di Padova / The Institutional Collaboration for the Padua Adaptation Plan,
Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella
- 301** Il progetto di rigenerazione integrata di Clichy-Batignolles a Parigi / The Clichy-Batignolles Integrated Regeneration Project in Paris,
Valeria Cecafosso
- 307** Euromediterranée-Smartseille Recovery, *Gaia Turchetti*
- 313** Ginko: un eco-quartiere sul lago di Bordeaux / Ginko: an Eco-neighborhood on the Lake Bordeaux, *Valeria Cecafosso*
- 319** Caserne De Bonne: il nuovo centro di Grenoble / Caserne De Bonne: the New Grenoble Center, *Valeria Cecafosso*
- 325** La riconversione ambientale di Ekostaden Augustenborg a Malmö / The Environmental Reconversion of Ekostaden Augustenborg in Malmö,
Elena Mussinelli, Raffaella Riva, Matteo Gambaro, Andrea Tartaglia
- 331** Hammarby Sjostad: rigenerazione urbana a Stoccolma / Hammarby Sjostad: Urban Regeneration in Stockholm,
Mariateresa Mandaglio, Caterina Claudia Musarella
- 337** Uno spazio verde sospeso a Dallas: Klyde Warren Park / A Suspended Green Space in Dallas: the Klyde Warren Park,
Elena Mussinelli, Raffaella Riva, Matteo Gambaro, Andrea Tartaglia
- 341** Forestazione urbana a Bologna: il Progetto Gaia / Urban Forestry in Bologna: the Gaia's Project, *Roberto Bologna, Giulio Hasanaj*
- 349** Il programma per le green streets a Portland / Green Streets Program in Portland, *Roberto Bosco, Pietro Ferrara*
- 355** Philadelphia Green Stormwater Infrastructures, *Roberto Bosco, Pietro Ferrara*
- 361** La gestione adattiva delle acque meteoriche a Seattle / Adaptive Stormwater Management in Seattle, *Roberto Bosco, Pietro Ferrara*
- 367** Bagby Street Reconstruction: un'infrastruttura adattiva a Houston / Bagby Street Reconstruction: an Adaptive Infrastructure in Houston,
Elena Mussinelli, Raffaella Riva, Matteo Gambaro, Andrea Tartaglia
- 375** Il corridoio ecologico del Passeig Sant Joan a Barcellona / The Ecological Corridor of the Passeig Sant Joan in Barcelona,
Roberto Bologna, Giulio Hasanaj
- 383** Water Square Benthemplein: spazi urbani multifunzionali a Rotterdam / Water Square Benthemplein: Multifunctional Urban Spaces in Rotterdam, *Roberto Bologna, Giulio Hasanaj*
- 391** Blue Infrastructures a Copenhagen. Il progetto di Tåsinge Square / Blue Infrastructures in Copenhagen. The Project of Tåsinge Square,
Roberto Bologna, Giulio Hasanaj
- Dialogo / Dialogue
- 399** Replicabilità e direzioni per il progetto ambientale appropriato / Replicability and Directions for Appropriate Environmental Design
Renata Valente, Louise A. Mozingo

Final Remarks

- 406** Sul confine. Assetti plurali per il progetto di adattamento climatico / On the Border. Plural Assets for the Climate Adaptation Project
Marina Rigillo

Air Pollutant

Elena Mussinelli, *Politecnico di Milano*
 Roberto Bolici, *Politecnico di Milano*
 Daniele Fanzini, *Politecnico di Milano*
 Giovanni Castaldo, *Politecnico di Milano*
 Andrea Tartaglia, *Politecnico di Milano*

Contesto, indicatori e loro evoluzione nel tempo

In campo ambientale la storia degli indicatori è strettamente correlata al concetto di sviluppo sostenibile e alle politiche globali per il suo perseguimento.

L'attenzione al rilevamento e al controllo degli inquinanti (e tra questi di quelli aerei) è via via cresciuta, e con essa l'esigenza di una corretta informazione ambientale. A ciò è corrisposta la messa a punto di idonei indicatori ambientali, riconosciuti e adottati dalla comunità scientifica per veicolare informazioni sullo stato dell'ambiente e valutare l'efficacia delle azioni di miglioramento (dall'introduzione delle procedure di VIA degli anni '80, all'Agenda XXI delle Nazioni Unite del '92, alla Carta di Aalborg e alla successiva Convenzione di Aarhus, sino alla Direttiva europea 2003/4/CE e finalmente alla Direttiva 2016/2284/UE, che ha stabilito i limiti nazionali per le emissioni di SO₂, NO_x, COVNM, NH₃, PM_{2,5} per gli anni 2020-29 - Protocollo di Göteborg - e dal 2030 in poi).

Principali inquinanti aerei / <i>Main air pollutants</i>		Fonte di emissione / <i>Source of emission</i>
Ossido di zolfo/anidride solforosa / <i>Sulfur oxide/sulfur dioxide</i>	SO _x /SO ₂	Combustione di gas e petroli / <i>Combustion of gases and oils</i>
Ossidi di azoto/biossido di azoto / <i>Nitrogen oxides/nitrogen dioxide</i>	NO/NO ₂	Combustioni ad alte temperature / <i>Combustion at high temperatures</i>
Monossido di carbonio / <i>Carbon monoxide</i>	CO	Combustione incompleta di gas, carbone, legna. Scarichi degli autoveicoli / <i>Incomplete combustion of gas, coal, wood. Vehicle exhausts</i>
Biossido di carbonio / <i>Carbon dioxide</i>	CO ₂	Gas serra/combustione / <i>Greenhouse gas/combustion</i>
Composti organici volatili / <i>Volatile organic compounds</i>	COV	Vapori dei solventi e dei combustibili a base di idrocarburi / <i>Vapors of solvents and hydrocarbon fuels</i>
Particolato / <i>Particulate</i>	PM	Processi di erosione o combustione / <i>Erosion or combustion processes</i>
Ammoniaca / <i>Ammonia</i>	NH ₃	Processi agricoli / <i>Agricultural processes</i>
Piombo / <i>Lead</i>	PB	Fonderie, vernici, impianti idraulici / <i>Foundries, paints, hydraulic systems</i>
Organici persistenti / <i>Persistent organic</i>	POP	Processi industriali / <i>Industrial processes</i>
Ozono / <i>Ozone</i>	O ₃	Reazione chimica tra NO _x e COV / <i>Chemical reaction between NO_x and VOC</i>

Tab. 1 - Principali inquinanti aerei e Fonti di emissione / *Main air pollutants and Sources of emission.*

Context, indicators and their evolution over time

In the environmental field, the history of indicators is closely related to the concept of sustainable development and global policies for its pursuit.

Attention to the detection and the control of pollutants (and among these of the airborne ones) has gradually grown, and with it the need for correct environmental information. In the meantime, environmental indicators, recognized and adopted by the scientific community to convey information on the state of the environment and to evaluate the effectiveness of the improvement actions (from the introduction of the EIA procedures of the 1980s, to the Agenda XXI of the United Nations of 1992, to the Aalborg Charter and to the subsequent Aarhus Convention, up to the European Directive 2003/4 / EC and finally to Directive 2016/2284 / EU, which established the national limits for emissions of SO₂, NO_x, COVNM, NH₃, PM_{2,5} for the years 2020-29 - Gothenburg Protocol - and from 2030 onwards), have been developed.

The alteration of concentrations of gas in the air depends on natural and / or anthropic causes (emissions of industrial, artisanal and agricultural activities, thermal power stations and heating systems, mobility) and constitutes a phenomenon of significant impact on the human health (respiratory, cardiac and cardiovascular diseases) and on ecosystem and climatic balances.

The constant monitoring of the air quality (in particular in urban areas, where significant exposure values for a large and concentrated population are found), the systematic reduction of emissions at the source, as well as the mitigation and the absorption of the already present pollutants are therefore fundamental. The monitoring involves the detection of concentration values through measurement networks and the use of numerical simulation models (applied to traffic, emissions, local meteorology and pollutant concentrations) to assess the levels of exposure of the population.

In Italy the first measurements date back to the 1950s and 1960s, with increasing pressures deriving from industrial development and motorization. The introduction of threshold for

Inquinante / Pollutant	Unità di misura / Unit of measure	Limite / Limit	Periodo di mediazione / Mediation period	Valore limite / Limit value	Superamenti/anno / Exceedances/year
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana / <i>24-hour limit value for the protection of the human health</i>	media giornaliera / <i>average per day</i>	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 35 / <i>max 35</i>
		Valore limite annuale per la protezione della salute umana / <i>Annual limit value for the protection of the human health</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore Limite annuale per la protezione della salute umana / <i>Annual limit value for the protection of the human health</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore limite orario per la protezione della salute umana / <i>Hourly limit for the protection of the human health</i>	media massima oraria / <i>maximum hourly average</i>	$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	massimo 18 / <i>maximum 18</i>
		Valore limite annuale per la protezione della salute umana / <i>Annual Limit Value for the protection of human health</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
O ₃	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Soglia d'informazione / <i>Information threshold</i>	media max oraria / <i>max hourly average</i>	$180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Soglia d'allarme / <i>Alarm threshold</i>	media max oraria / <i>max hourly average</i>	$240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Valore obiettivo / <i>Target value</i>	media max giornaliera calcolata su 8 ore / <i>max per day average calculated on 8 hours</i>	$120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	≤ 25 volte/a. (media su 3 a.) / <i>25 times/year (average over 3 y.)</i>
		Valore obiettivo per la protezione della vegetazione / <i>Target value for the protection of the vegetation</i>	calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio / <i>calculated on the basis of the values of 1 hour from May to July</i>	$18000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media su 5 a. / <i>average 5 y.</i>)	
CO	mg/m^3	Valore limite orario per la protezione della salute umana / <i>Hourly limit value for the protection of the human health</i>	media max giornaliera calcolata su 8 ore / <i>max per day average calculated on 8 hours</i>	$10 \text{mg}/\text{m}^3$	
SO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore limite giornaliero / <i>Daily threshold</i>	media giornaliera / <i>average per day</i>	$125 \mu\text{g}/\text{m}^3$	max 3 / <i>max 3</i>
		Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana / <i>Limit on 1 hour for the protection of the human health</i>	media massima oraria / <i>maximum per day average</i>	$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$	max 24 / <i>max 24</i>
Benzene / <i>Benzene</i>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valore limite su base annua / <i>Annual threshold</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Benzo(a)pirene / <i>Benzo (a) pyrene</i>	ng/m^3	Concentrazione nella frazione PM10 del materiale particolato (media su un anno civile) / <i>Concentration of the particulate material in the PM10 fraction, (average over a calendar year)</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$1 \text{ng}/\text{m}^3$	
Metalli pesanti / <i>Heavy metals</i>	ng/m^3	Arsenico / <i>Arsenic</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$6 \text{ng}/\text{m}^3$	
		Cadmio / <i>Cadmium</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$5 \text{ng}/\text{m}^3$	
		Nichel / <i>Nickel</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$20 \text{ng}/\text{m}^3$	
		Piombo / <i>Lead</i>	anno civile / <i>calendar year</i>	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	

Tab. 2 - Limiti di riferimento (D.lgs 155/2010) / *Reference limits (Leg. Decree. 155/ 2010)* (Source: Elaboration of data from ISPRA and regional ARPA).

L'alterazione delle normali concentrazioni di gas nell'aria è dovuta a cause naturali e/o antropiche (emissioni di attività industriali, artigianali e agricole, centrali termiche e impianti di riscaldamento, mobilità) e costituisce un fenomeno di rilevante impatto sulla salute umana (patologie di tipo respiratorio, cardiaco e cardiovascolare) e sugli equilibri ecosistemici e climatici.

Sono quindi fondamentali sia il costante monitoraggio della qualità dell'aria (in particolare nelle aree urbane, dove si riscontrano valori di esposizione significativi per una popolazione consistente e concentrata), sia la sistematica riduzione delle emissioni alla fonte, nonché la mitigazione e assorbimento degli inquinanti già presenti. Il monitoraggio prevede il rilevamento dei valori di concentrazione attraverso reti di misurazione e l'impiego di modelli di simulazione numerica (applicati al traffico, alle emissioni, alla meteorologia locale e alla concentrazione degli inquinanti) per valutare i livelli di esposizione della popolazione.

In Italia le prime misurazioni risalgono agli anni '50 e '60, con le crescenti pressioni derivanti dallo sviluppo industriale e della motorizzazione, ma l'introduzione di valori limite per l'inquinamento atmosferico avviene solo con il DPCM 28 marzo 1983; è poi ripresa alla fine degli anni ottanta nel contesto delle procedure di VIA e di VAS, con una crescente attenzione per la qualità dell'aria nelle aree urbane, e poi con il D.Lgs 351/99, e ancora con il D.Lgs n.155/2010 (attuazione Direttiva 2008/50/CE) e il DM 26 gennaio 2017, che ha recepito la Direttiva UE 1480/2015 per quanto riguarda la determinazione degli inquinanti, le procedure per la garanzia di qualità delle reti e la comunicazione dei dati rilevati). Grazie alle osservazioni delle numerose agenzie nazionali e internazionali per l'ambiente è oggi possibile disporre di serie storiche relative alle concentrazioni, che registrano effetti di riduzione delle concentrazioni di inquinanti primari (SO_2 , CO, C_6H_6), ma non degli inquinanti secondari (PM10, PM2,5, NO_2 e O_3). Nel corso degli anni la normativa è dunque cambiata più volte, adattandosi agli effetti positivi delle limitazioni e a crescenti obiettivi di qualità. L'attuale assetto normativo è rappresentato dal D.Lgs 30 maggio 2018, n. 81 (attuazione Direttiva UE 2016/2284), che definisce gli impegni nazionali relativi alla riduzione delle emissioni, ai programmi nazionali di controllo dell'inquinamento atmosferico, agli obblighi di monitoraggio e di comunicazione.

Air Quality Index, misurazione e applicazione

L'Air Quality Index (AQI) è un indice aggregato che permette di rappresentare in modo sintetico lo stato di qualità dell'aria considerando i dati di più inquinanti (tipicamente PM10 e PM2.5, NO_2 , NO_x , O_3 , CO, SO_2 e benzene), fornendo una stima articolata su vari livelli. Si tratta di un indice abbastanza efficace nel fornire un quadro sintetico e dinamico della qualità dell'aria nelle città, ma non impiegabile per la verifica puntuale della conformità delle emissioni ai limiti di legge.

I valori di concentrazione utili al calcolo dell'AQI sono raccolti attraverso stazioni di monitoraggio dotate di sensori con letture a scadenza oraria o giornaliera in relazione al tipo di inquinante, che identificano la stazione di monitoraggio, il sensore, l'inquinante misurato, la sua concentrazione e la data/ora di rilevamento.

L'AQI viene calcolato in diversi modi, in relazione al numero di inquinanti e delle concentrazioni misurate, stimate o previste. Inoltre, un passaggio importante è quello relativo alle modalità di aggregazione degli inquinanti, che può essere effettuata assumendo il valore più alto tra quelli dei sottoindici, oppure calcolandone il valore medio (eventualmente ponderato). L'EPA (US Environmental Protection

atmospheric pollution occurs only with the DPCM of the 28th March 1983. Moreover, it is resumed at the end of the Eighties in the context of the EIA and SEA procedures, with a growing attention to the air quality in urban areas; then with the Legislative Decree 351/99; then with the Legislative Decree n.155 / 2010 (implementation of Directive 2008/50 / EC); then with the Ministerial Decree 26th January 2017, which transposed EU Directive 1480/2015 regarding the determination of pollutants, the procedures for guaranteeing network quality and communication of the collected data).

Thanks to the observations of numerous national and international agencies for the environment, it is now possible to have time series relative to concentrations, which record effects of reduction of concentrations of primary pollutants (SO_2 , CO, C_6H_6), but not of secondary pollutants (PM10, PM2.5, NO_2 and O_3).

Over the years, the legislation has therefore changed several times, adapting to the positive effects of limitations and to the new objectives of quality. The current regulatory framework is represented by the Legislative Decree 30th May 2018, n. 81 (implementation of EU Directive 2016/2284), which defines national commitments related to the reduction of the emissions, the national control programs of the air pollution, the monitoring and communication obligations.

Air Quality Index, measurement and application

The Air Quality Index (AQI) is an aggregate index that allows to summarize the state of air quality considering the data of several pollutants (typically PM10 and PM2.5, NO_2 , NO_x , O_3 , CO, SO_2 and benzene), providing an articulated estimation on different levels. This is a fairly effective index in providing a synthetic and dynamic picture of the quality of the air in the cities, but it is not usable for the punctual verification of the compliance of the emissions with the limits defined by the law.

The concentration values useful for the AQI calculation are collected through monitoring stations equipped with sensors with hourly or daily readings in relation to the type of pollutant, which identify the monitoring station, the sensor, the measured pollutant, its concentration and the date / time of detection.

The AQI is calculated in different ways, in relation to the number of the measured pollutants, estimated or expected concentrations. Furthermore, an important step regards the methods of aggregation of pollutants, which can be carried out by assuming the highest value among those of the sub-indices, or by calculating the average value (possibly weighted).

The EPA (US Environmental Protection Agency) uses an air quality index articulated in six increasing levels of harmfulness to the human health and it is based on the five pollutants regu-

lated by the US legislation: O₃ at ground level (in ppm, or parts per million), PM_{2.5} and PM₁₀ (in µg / m³), CO (in ppm, in parts per million), SO₂ (in ppm) and NO₂ (in ppm), for each of which a national standard is established.

In European countries, the index is calculated in different ways, although often with reference to O₃, PM₁₀, SO₂, CO and NO₂. The need to have comparable and easily communicable data led to the definition of a common index - the CAQI, Common Air Quality Index -, based on the different existing quality indexes, with attention to the European Community thresholds. The CITEAIR project, Common Information to European Air, funded by the European Union under the INTERREG IIIC Program, defined three useful indexes to provide - on the interactive website Air Quality Now - information on air quality in over fifty cities European. These indexes - articulated on time scans (hourly, daily and yearly) and on 5 levels, on a scale from 0 (very low) to 100 (very high) - consider the three main pollutants (PM₁₀, NO₂ and O₃) and, in perspective, three other significant pollutants (CO, PM_{2.5} and SO₂).

In Italy the AQI is calculated by dividing the measurement relating to each pollutant by the related reference limit established by law by the Legislative Decree 155/2010.

The use of the air quality models allows also the simulation of the behaviour of pollutants in the atmosphere, integrating the analytical framework, on the one hand with data relating to physical-chemical phenomena and orographic and climatic conditions (temperature, pressure, humidity, precipitations, wind direction and speed, atmospheric stability) associated with each monitoring station and, on the other, with vehicle traffic data (number of vehicles entering in a specific zone / day), with specifications about vehicle category (type of fuel:

Agency) impiega un indice di qualità dell'aria articolato in sei livelli crescenti di nocività per la salute umana e basato sui cinque inquinanti regolamentati nella legislazione statunitense: O₃ a livello del suolo (in ppb, o parti per miliardo), PM_{2.5} e PM₁₀ (in µg/m³), CO (in ppm, in parti per milione), SO₂ (in ppb) e NO₂ (in ppb), per ciascuno dei quali è stabilito uno standard nazionale.

Nei Paesi europei l'indice è calcolato in modo differenziato, anche se spesso con riferimento a O₃, PM₁₀, SO₂, CO e NO₂. L'esigenza di rendere comparabili e facilmente comunicabili i dati ha portato alla definizione di un indice comune - il CAQI, Indice Comune di Qualità dell'Aria (Common Air Quality Index) -, basato sui diversi indici di qualità esistenti, con attenzione ai livelli soglia comunitari. Il progetto CITEAIR, Common Information to European Air, finanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Programma INTERREG IIIC, ha definito tre indici utili per fornire al pubblico - sul sito interattivo Air Quality Now - informazioni sulla qualità dell'aria in oltre cinquanta città europee. Tali indici - articolati su scansioni temporali (orario, giornaliero e annuale) e in 5 livelli, su una scala da 0 (molto bassa) a > 100 (molto alta) -, considerano i tre principali inquinanti (PM₁₀, NO₂ e O₃) e, in prospettiva, altri tre inquinanti di rilievo (CO, PM_{2.5} e SO₂).

Valori dell'Indice Air Quality Index / Air Quality Index Values	Livelli di pericolo per la salute / Levels of Health Concern	Colori / Colors
0-50	Buono / Good	Verde / Green
51-100	Moderato / Moderate	Giallo / Yellow
101-150	Dannoso per gruppi di persone sensibili / Unhealthy for sensitive groups	Arancio / Orange
151-200	Dannoso / Unhealthy	Rosso / Red
201-300	Molto Dannoso / Very Unhealthy	Viola / Purple
301-500	Pericoloso / Hazardous	Marrone / Maroon

Tab. 3 - Valori e livelli di rischio per la salute dell'Air Quality Index / Risk values and levels for the health of the Air Quality Index (Source: EPA, <https://www.airnow.gov>).

AIQ	Parametro / Parameter	Valore limite / Limit value	Molto buona / Very good	Buona / Good	Accettabile / Acceptable	Scarsa / Scarce	Molto scarsa / Very scarce
PM _{2.5}	media giornaliera / daily average	25 µg/m ³	0-10	ott-20	20-25	25-30	50-800
PM ₁₀	media giornaliera / daily average	50 µg/m ³	0-20	20-35	35-50	50-100	100-1200
NO ₂	massimo orario / maximum hourly	200 µg/m ³	0-40	40-100	100-200	200-400	400-1000
O ₃	massimo orario / maximum hourly	180 µg/m ³	0-80	80-120	120-180	180-240	240-600
SO ₂	massimo orario / maximum hourly	350 µg/m ³	0-100	100-200	200-350	350-500	500-1250
CO	media mobile 8H / average 8H	10 mg/m ³					
C ₆ H ₆	media annuale / Annual average	5 µg/m ³					

Tab. 4 - Livelli del modello AIQ rapportati ai valori limite degli inquinanti su standard nazionale italiano / Levels of the AIQ model compared to the limit values of pollutants according to the Italian national standard (Source: Elaboration of data from ISPRA and regional ARPA).

In Italia l'AQUI è calcolato dividendo la misurazione relativa a ogni inquinante per il correlato limite di riferimento, stabilito per legge dal D.Lgs 155/2010.

L'impiego di modelli di qualità dell'aria consente inoltre di simulare il comportamento degli inquinanti in atmosfera, integrando il quadro analitico, da un lato con dati relativi ai fenomeni fisico-chimici e alle condizioni orografiche e climatiche (temperatura, pressione, umidità, precipitazioni, direzione e velocità del vento, stabilità atmosferica) associati a ciascuna stazione di monitoraggio e, dall'altro, ai dati del traffico veicolare (numero di veicoli in ingresso a una determinata zona/giorno), articolato per categoria di veicolo (per tipo di carburante: benzina, diesel, elettrico, GPL-Metano, ibrido, GPL, miscela, ibrido gasolio, metano, ibrido benzina; per tipo di veicolo (bus, merci, privati, ecc.) e per categoria di Euro.

Opere tecniche che agiscono sull'indicatore, esempi e limiti di applicazione

Le soluzioni tecniche per il miglioramento della qualità dell'aria nei distretti urbani attraverso l'assorbimento degli inquinanti operano sia per mezzo di materiali artificiali, sia mediante l'impiego di componenti naturali (NBS).

Tra le soluzioni artificiali troviamo in particolare:

- materiali e componenti a base di biossido di titanio, impiegati su superfici orizzontali e verticali, che - sotto l'azione dei raggi ultravioletti - utilizzano processi di fotocatalisi per assorbire/decomporre gli inquinanti; le proprietà fotocatalitiche sono applicate a diversi materiali e componenti edilizi (cemento e suoi derivati - malte e intonaci -, vernici, tegole, pannelli, lastre, masselli e piastrelle, vetro) per realizzare pavimentazioni, coperture, pannellature, finiture esterne e rivestimenti, le cui capacità di assorbimento sono validate da enti di ricerca, con riduzioni sensibili (anche > 50%).
- materiali filtranti (in particolare tessuti multistrato) capaci di assorbire/decomporre gli inquinanti attraverso processi nanomolecolari che sfruttano il movimento naturale dell'aria.

Per quanto concerne l'applicazione delle NBS, è possibile considerare le seguenti opere: tree planting; green roof; green walls; bio-basin.

Vi sono infine le soluzioni ibride, che sfruttano l'integrazione di componenti naturali e artificiali (muschio, filtri, sensori di rilevamento, ecc.) e che trovano applicazione soprattutto in elementi di attrezzamento urbano (es: CityTrees air filter). Valutare in modo puntuale l'efficacia di tali soluzioni in termini di cattura degli inquinanti aerei è piuttosto complesso, perché le prestazioni sono strettamente connesse alle caratteristiche fisico-spaziali, orografiche, climatiche e ambientali del contesto, alle fonti, alle tipologie e al grado di concentrazione degli inquinanti, nonché alle specifiche di ogni singola soluzione adottata.

Dal punto di vista metodologico sono possibili diverse modalità di misurazione/valutazione, applicabili *ex-ante* o *ex-post* (più rari i casi in letteratura di applicazione a supporto del processo decisionale/progettuale). Nel caso delle NBS, ad esempio, possono essere impiegati i modelli parametrici che adottano valori tabellari (ex. modello UFORE-Urban Forest Effect, LAI-Leaf Area Index), analitici (ex. modellazioni spaziali in GIS e simulazioni -, software I-Tree, ecc. - puntualmente riferite al sito), e/o strumentale (ex. misurazione diretta della variazione dei livelli di concentrazione degli inquinanti negli apparati fogliari).

Un esempio significativo è riscontrabile nella sperimentazione progettuale del gruppo Proxima per il Concorso C40 (sito di Via Serio a Milano), che ha svilup-

gasoline, diesel, electric, LPG-Methane, hybrid, LPG, mixture, diesel, methane, hybrid petrol, by type of vehicle (bus, goods, private, etc.).

Technical interventions that affect the indicator, examples and limits of the application

The technical solutions for the improvement of the air quality in urban districts through the absorption of pollutants regards both the use of artificial materials and the adoption of natural components (NBS).

Among the artificial solutions, we can list in particular:

- *materials and components based on titanium dioxide, used on horizontal and vertical surfaces, which - under the action of ultraviolet rays - use photo catalysis processes to absorb/decompose pollutants; the photo catalytic properties are applied to different building materials and components (cement and its derivatives - mortars and plasters -, paints, tiles, panels, slabs, blocks and tiles, glass) to create flooring, coverings, panelling, external finishes and coatings, the whose absorption capacity is validated by research institutes, with significant reductions (even > 50%).*
- *filtering materials (in particular multilayer fabrics) capable of absorbing / decomposing pollutants through nanomolecular processes that exploit the natural movement of the air.*
With regard to the application of NBS, it is possible to consider the following typologies: tree planting; green roof; green walls; bio-basin.

Finally, there are hybrid solutions, which take advantage of the integration of natural and artificial components (moss, filters, detection sensors, etc.) and which find application above all in multifunctional urban equipment (ex: CityTrees air filter). Evaluating punctually the effectiveness of these solutions in terms of capture of air pollutant is rather complex, because the performances are strictly connected to the physical-spatial, orographic, climatic and environmental characteristics of the context, to the sources, to the types and to the degree of concentration of pollutants, as well as to the specifications of each adopted solution.

From a methodological point of view, different measurement/evaluation methods are possible, applicable ex-ante or ex-post (the cases of application for supporting the decision-making / planning process are rare in literature). In the case of NBS, for example, parametric models can be used that adopt tabular values (ex. UFORE model - Urban Forest Effect, LAI-Leaf Area Index), analytical models (ex. Spatial modelling in GIS and simulations -, software I- Tree, etc. - punctually related to the site), and / or instrumental (e.g. Direct measurement of the variation of concentration levels of pollutants in foliar apparatus).

A significant example can be found in the design experimentation of the Proxima group for the Competition C40 (Via Serio site in Milan), which has developed - among others - also actions aimed at improving the quality of the area through NBS (trees, hedges, shrubs, lawns, ground cover, etc.). The simulations, which have considered several factors (exposure, meteorological data, ex-ante concentrations, etc.) and have evaluated for example the benefits, in terms of removal of air pollutants, deriving from the installation of 55 new trees of various essences (assuming its performance 15 years after planting) and the formation of bio-basins, provide the results shown in Table 5.

patto - tra le altre - anche azioni puntualmente finalizzate al miglioramento della qualità dell'area attraverso le NBS (alberi, siepi, arbusti, prati, tappezzanti, ecc.). Le simulazioni, che hanno considerato diversi fattori (esposizione, dati meteorologici, concentrazioni ex-ante, ecc.) e hanno valutato ad esempio i benefici, in termini di rimozione degli inquinanti aerei, derivanti dall'impianto di 55 nuovi alberi di varie essenze (ipotizzandone le prestazioni a 15 anni dalla messa a dimora) e dalla formazione di biobacini, forniscono i risultati riportati nella Tabella 5.

PIANTUMAZIONI. TABELLA RELATIVA AGLI INDICATORI DI RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI AEREI E MANCATA EMISSIONE DI CO2 EQ IN ATMOSFERA										
	Numero	Rimozione inquinanti								CO2 equivalente 298 Kg CO2/Kg NO2
		O3		PM10		SO2		NO2		
		Kg/albero*anno	Kg/anno	Kg/albero*anno	Kg/anno	Kg/albero*anno	Kg/anno	Kg/albero*anno	Kg/anno	Kg CO2 eq/anno
Celtis Australis	21	0.130	2.73	0.143	3.003	0.265	5.565	0.186	3.906	1163.988
Liriodendron Tulipifera	6	0.25	0.78	0.21	1.260	0.425	2.550	0.32	1.920	572.160
Liquidambar styraciflua	6	0.13	1.5	0.127	0.762	0.35	2.100	0.11	0.660	196.680
Fraxinus Hornus	8	0.35	1.04	0.125	1.000	0.05	0.400	0.1	0.800	238.400
Pyrus calleryana	4	0.05	1.4	0.05	0.200	0.1	0.400	0.05	0.200	59.600
Tilia platyphyllos	10	0.3	0.5	0.152	1.520	0.32	3.200	0.6	6.000	1788.000
Ligustrum lucidum	100	0.03	3	0.015	1.5	0.08	8.000	0.09	9.000	2682.000
Photinia red Robin	80	0.03	2.4	0.015	1.2	0.08	6.400	0.09	7.200	2145.600
TOTALI	235		13.350		10.445		28.615		29.686	8846.428

BIOBACINI E PRATI. TABELLA RELATIVA AGLI INDICATORI DI RIMOZIONE DEGLI INQUINANTI AEREI E MANCATA EMISSIONE DI CO2 EQ IN ATMOSFERA										
		O3		PM10		SO2		NO2		CO2eq
Zone a biobacino	599	0.004492	2.690708	0.0006490	0.388751	0.001982	1.187218	0.002329	1.395071	415.731158
Zone a prato	1694	0.002871	4.863474	0.0005570	0.943558	0.001138	1.893892	0.001465	2.48171	739.54958
TOTALE	2293		7.554182		1.332309		3.08111		3.876781	1155.28074

Tab. 5 - Simulazioni progetto Proxima (Piantumazioni-Biobacini) / Proxima project simulations (Plantings-Biobacins) (Elaboration by Davide Cerati).

References

- Cirillo, C.M. (2014), "Breve storia dell'inquinamento atmosferico in Italia", in *Gazzetta Ambiente, Rivista sull'ambiente e il territorio*, n. 4/2014, Alpes, Perugia.
- CNEIA, (2006), *Relazione del gruppo di lavoro 1 della Commissione Nazionale Emergenza Inquinamento Atmosferico del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*.
- EEA (2014), *Digest of EEA indicators 2014*, available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/digest-of-eea-indicators-2014>.
- EEA (2015), *Air quality report 2 2015*, Report, available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2015> (accessed 26 June 2019)
- EPA (2014), *Air quality index. A guide to air quality and your health*, available at: https://web.archive.org/web/20171117011127/https://www3.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf (accessed 26 June 2019).
- International Air Quality, available at: <https://www.airnow.gov/index.cfm?action=airnow.international>.
- OECD (2008), *Handbook on constructing composite indicators, methodology and user guide*, available at: <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>

Websites

- <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/about>
- https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators#c0=10&c12-operator=or&b_start=0
- <https://www.eionet.europa.eu>
- <https://projects.eionet.europa.eu/sense>
- <https://inspire.ec.europa.eu>