

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 Bolicci, Daniele Fanzini, Giovanni Castaldo, Andrea Tartaglia*
- 229 Indicatore di riduzione di CO₂ e CO₂eq / Indicator of CO₂ and CO₂eq Reduction,
Elena Mussinelli, Roberto Bolicci, Daniele Fanzini, Giovanni Castaldo, Andrea Tartaglia
- 235 Greenhouse Gases, *Elena Mussinelli, Roberto Bolicci, 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

Indicatore di riduzione di CO₂ e CO₂eq Indicator of CO₂ and CO₂eq Reduction

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 culturale e tecnico

Il diossido di carbonio (CO₂) è parte dei cicli biogeochimici naturali quale risultato dell'ossidazione delle molecole organiche definite "carboniose". In natura è prodotto da batteri aerobici nei processi di fermentazione alcolica, o dalla respirazione degli animali e dell'uomo. Le piante utilizzano il diossido di carbonio per la fotosintesi, un processo che, grazie all'azione della luce solare e della clorofilla, fornisce loro il nutriente per la sussistenza. Nel ciclo naturale esiste un sostanziale equilibrio tra i flussi di produzione e consumo di CO₂, che ne mantiene stabile la concentrazione in atmosfera. Bruciando combustibili fossili e deforestando l'uomo ha però modificato tale equilibrio, innescando il progressivo accumulo di CO₂, e il conseguente effetto serra.

Lo scienziato svedese Svante Arrhenius fu il primo, nel 1896, a stabilire la correlazione tra l'utilizzo di combustibili fossili e l'aumento del riscaldamento globale. Considerando la capacità di assorbimento delle radiazioni infrarosse da parte del vapore acqueo e dell'anidride carbonica, egli stabilì una correlazione tra la concentrazione di CO₂ in atmosfera e l'aumento della temperatura superficiale media del pianeta attraverso l'effetto serra (Maslin, 2004).

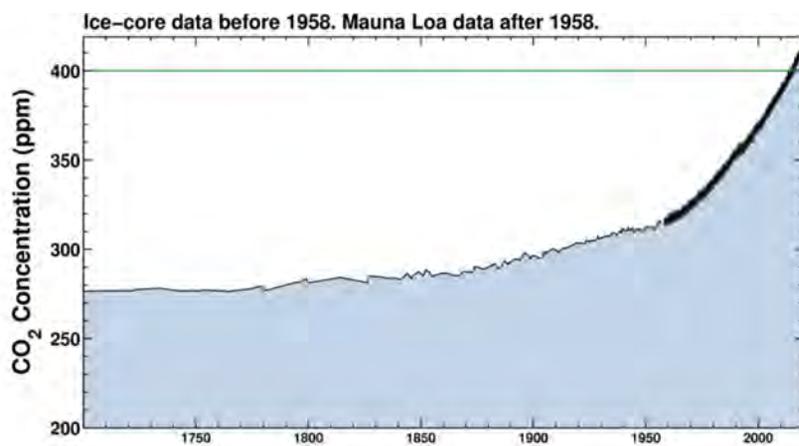


Fig. 1 - Aumento della concentrazione del CO₂ in atmosfera dal periodo pre-industriale ad oggi / Increase in the concentration of CO₂ in the atmosphere from the pre-industrial period to the present (Source: https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/wp-content/plugins/sio-bluemoon/graphs/CO2_800k_zoom.png).

The technical and cultural context

The carbon dioxide (CO₂) is part of the natural biogeochemical cycles as a result of the oxidation of organic molecules called "carbon". In nature it is produced by aerobic bacteria in alcoholic fermentation processes, or by the respiration of animals and humans. Plants use carbon dioxide for the photosynthesis, a process that, due to the action of the sunlight and the chlorophyll, provides them with the nutrient for subsistence.

In the natural cycle there is a substantial balance between the flows of production and consumption of CO₂, which keeps stable the concentration in the atmosphere. Through the burning of fossil fuels and the deforestation this balance is changed, triggering the progressive accumulation of CO₂ and the consequent greenhouse effect.

The Swedish scientist Svante Arrhenius was the first, in 1896, to recognize the correlation between the use of fossil fuels and the increase in global warming. Considering the capacity of absorption of infrared radiation by water vapor and carbon dioxide, he established a correlation between the concentration of CO₂ in the atmosphere and the increase of the average surface temperature of the planet through the greenhouse effect (Maslin, 2004).

The Keeling curve (a diagram that indicates the seasonal cyclic trend of the concentration of CO₂ in the atmosphere) records the constant increase in CO₂ values from the 1950s to today. In 2013 the threshold of 400 parts per million (ppm) was exceeded, a value that had not been reached on Earth for millions of years. But if the overcoming of this threshold seemed an absolutely exceptional event, the value of 414.15 recorded on the 3rd of May 2019 at the Mauna Loa observatory in Hawaii was even more striking, as it was close to the threshold of 450 ppm, threshold over which the increase of temperature could exceed the so-called point of no return (Aengenheyster et al., 2018).

The increase in the global average surface temperature results today at least 1 degree higher than the pre-industrial period (from 1850 to 1900). According to the report of the Intergovernmental Panel on global warming, if we continue to

release greenhouse gases into the atmosphere at current rates, this increase could reach a value of +1.5 °C (0.5 °C lower than the point of no return) within twenty years. The most worrying thing is that, even in the case of a significant reduction in the emission of greenhouse gases into the atmosphere, the temperature growth trend will continue at least until the year 2055, before recording a reversal trend (Allen et al., 2018).

Although in 2015 the carbon dioxide has been recognized by all the signatory Countries of the final document of the Paris Conference 2015 (COP21) as the cornerstone for the effective control of the climate change, some countries such as China, the United States and India have increased their emissions. Monitoring and assessing the situation through appropriate indicators and measurement methodologies is the necessary precondition for the development of adequate policies and strategies to face the global warming.

Concentration of CO₂ in atmosphere: measurement and application

The CO₂ present in the atmosphere is measured in % with respect to the unit of volume or in ppm (parts per million). The most common measurement technologies include: thermal detectors (useful in particular for the determination of losses of CO₂ from reservoirs or confinement fields), monitors with continuous emission (CEM) for the evaluation of the efficiency of capture and laser and diodes spectrometers for atmospheric measurements. The main CO₂ monitoring technologies in the atmosphere are based on the use of appropriate sensors, which exploit IR Infrared Radiation, or accelerators for mass spectrometry AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

A unique detection technology has recently been developed in the CNR laboratories. This is extremely high-precision laser spectroscopy, which allows the measurement of the small amounts of CO₂ present in nature (1 CO₂ molecule per thousand billion ordinary carbon dioxide molecules). The technology, which today still has a sensitivity at least 1000 times higher than the best existing alternative technologies, has already been scientifically validated and it will allow the portability of extremely high-precision measuring instruments throughout the world.

The measurements already carried out show that the growth rate of CO₂ concentration in the air has gone from 11.4 billion tons (Gt) CO₂ per year in the period 1960/2008 up to 34.4 GtCO₂ per year in the 2008-2017 period. In 2018, the article by a group of researchers from the Global Carbon Project, published in the journal *Earth System Science Data* at the same time of the United Nations climate summit (COP24) in Katowice (Poland), quantifies the achievement of the record of 37.1

La curva di Keeling (diagramma che indica l'andamento ciclico stagionale della concentrazione della CO₂ in atmosfera) registra il costante aumento dei valori di CO₂ dagli anni '50 a oggi. Era il 2013 quando venne superata la soglia delle 400 parti per milione (ppm), un valore che sulla Terra non si raggiungeva da milioni di anni. Ma se il superamento di tale soglia sembrò un dato del tutto eccezionale, il valore di 414,15 registrato il 3 maggio 2019 presso l'osservatorio di Mauna Loa alle Hawaii risultò ancora più eclatante, in quanto prossimo alla soglia di 450 ppm, soglia oltre la quale l'aumento della temperatura potrebbe eccedere il cosiddetto punto di non ritorno (Aengenheyster et al., 2018).

L'aumento della temperatura media superficiale globale risulta già oggi di almeno 1 grado superiore al periodo preindustriale (dal 1850 al 1900). Secondo la relazione del Panel Intergovernativo sul riscaldamento globale, se si continuerà ad immettere gas serra in atmosfera ai ritmi attuali, tale aumento potrebbe raggiungere il valore di +1,5 °C (0,5 °C inferiore rispetto al punto di non ritorno) entro vent'anni. La cosa più preoccupante è che, anche nel caso di una sensibile riduzione dell'immissione di gas serra in atmosfera, il trend di crescita della temperatura proseguirà almeno fino all'anno 2055, prima di registrare una inversione di tendenza (Allen et al., 2018).

Sebbene nel 2015 il diossido di carbonio sia stato riconosciuto da tutti i Paesi firmatari del documento finale della Conferenza di Parigi 2015 (COP21) come il caposaldo per l'effettivo controllo dei cambiamenti climatici, alcuni paesi quali Cina, Stati Uniti e India hanno aumentato le loro emissioni. Monitorare e valutare la situazione attraverso opportuni indicatori e metodologie di misurazione è la pre-

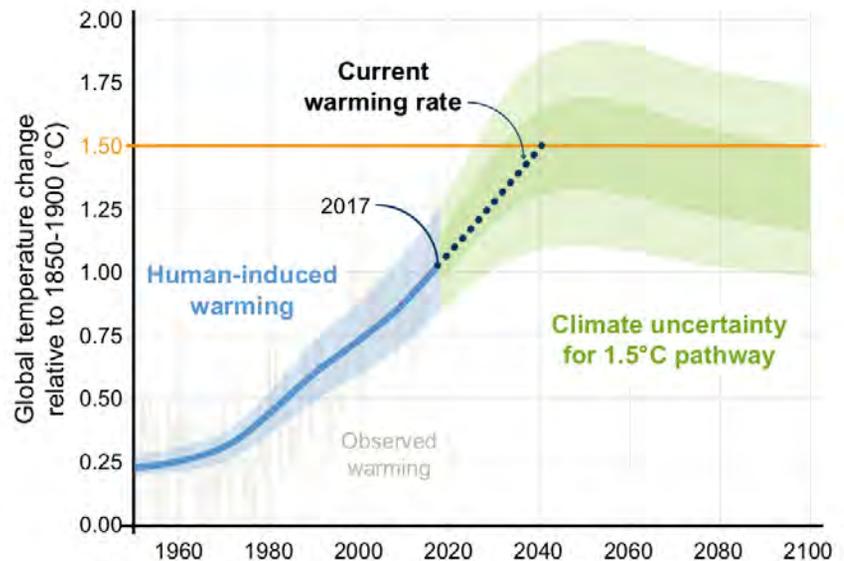


Fig. 2 - Crescita della temperatura globale e soglia per una possibile inversione di tendenza in caso di immediata riduzione delle emissioni / *Global temperature growth and threshold for a possible reversal trend in case of immediate emission reduction* (Source: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf).

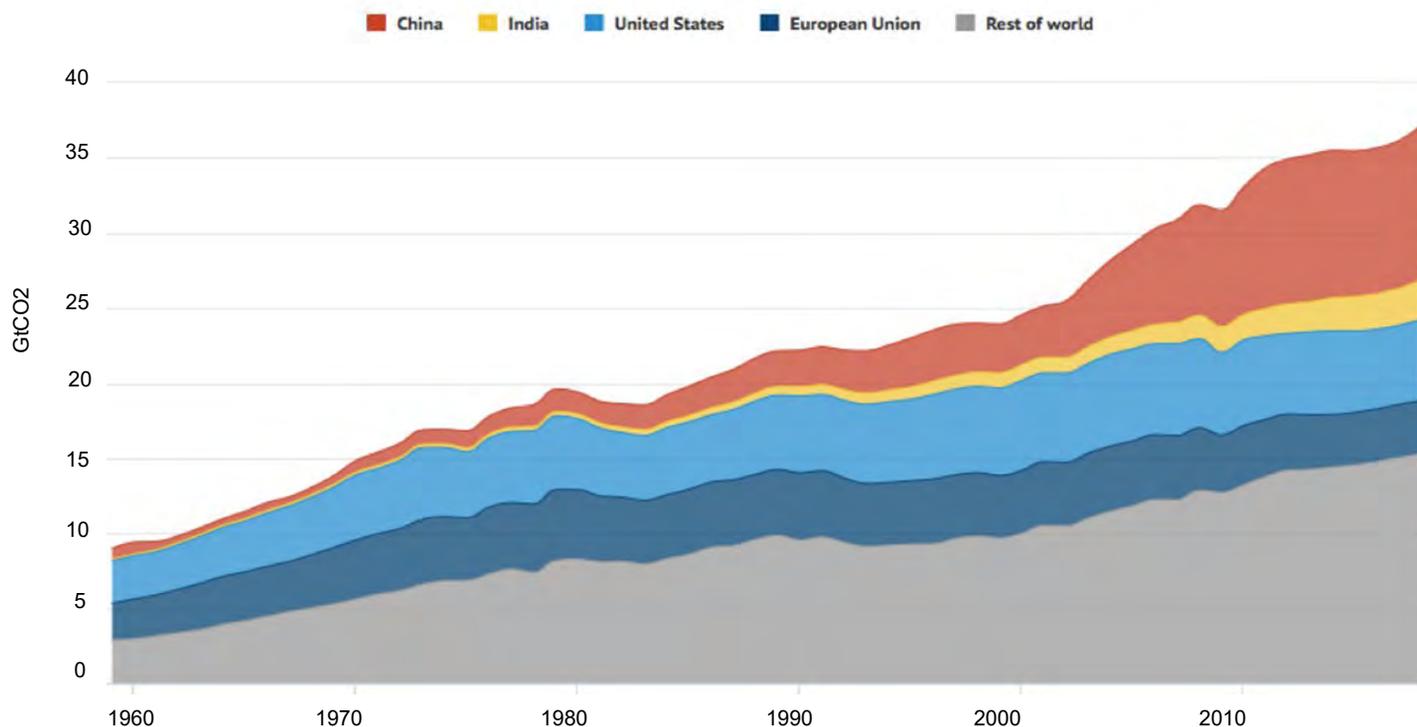


Fig. 3 - Emissioni annuali CO₂ da combustibili fossili per principali Paesi emettitori e per il resto del mondo (1959-2018), in miliardi di tonnellate di CO₂ l'anno (GtCO₂ a-1). Per il 2018 i dati sono stime preliminari / *Annual CO₂ emissions from fossil fuels for major emitting countries and for the rest of the world (1959-2018), in billions of tons of CO₂ per year (GtCO₂ a-1). For 2018 the data are preliminary estimations* (Source: Global Carbon Project).

condizione necessaria allo sviluppo di adeguate politiche e strategie di contrasto al surriscaldamento globale.

Concentrazione di CO₂ in atmosfera: misurazione e applicazione

La CO₂ presente in atmosfera si misura in % rispetto all'unità di volume o in ppm (parts per million). Tra le tecnologie di misurazione più comuni si segnalano: i rilevatori termici (utili soprattutto per determinare perdite di CO₂ da serbatoi o giacimenti di confinamento), i monitor a emissione continua (CEM) per la valutazione dell'efficienza di cattura e gli spettrometri laser a diodi per le misure atmosferiche. Le principali tecnologie di monitoraggio della CO₂ in atmosfera si basano sull'utilizzo di opportuni sensori, che sfruttano la Radiazione Infrarossa IR, o acceleratori per spettrometria di massa AMS (Accelerator Mass Spectrometry).

Nei laboratori del CNR è stata recentemente messa a punto una tecnologia di rilevamento unica e al momento ineguagliata. Trattasi della spettroscopia laser di altissima precisione, che consente di misurare le minime quantità di CO₂ presenti in natura (1

billion tons of CO₂ equivalent year.

Measurements of CO₂ concentrations in the atmosphere allow to make predictions about the future climate, also in order to define possible strategies to combat negative effects. The approaches to this type of study have changed considerably over the years: from the first political attempts based on the "command and control" principle of the Seventies, to the more effective market system "cap and trading" off the Kyoto Protocol in the Nineties and to the still more effective strategy that today aims to consider CO₂ as a good (not a waste) that can be economically valorised.

It is already possible today to use CO₂ in the agri-food industry as a preservative solution for food or beverage gasifier, in the chemical industry as a raw material for obtaining construction materials (polycarbonates) and in the production of fuels. A promising technology foresees the possibility of using solar furnaces to dissociate CO₂ into CO and O₂, and thus feeding fuel cells or loose carbonates (MCFC) to produce electricity and heat (ISPRA, 2018).

Solutions for the reduction of CO₂ in atmosphere

The European Platform on adaptation to the climate change launched in 2012 based on the objectives of the 2009 White

Paper provides useful tools to support policies to make Europe more resilient to the climate change. In the European strategy there is a strong reference to adaptation actions that can be implemented at the urban level. The Mayors Agreement, an initiative that involves 4,000 local authorities on a voluntary basis, aims to correlate these strategies with other policies for improving the quality of life in urban contexts.

In June 2015, with the Directive Decree n.86, Italy approved its own National Strategy for Adaptation to Climate Change (SNAC). To implement this strategy, in 2016 the process of multi-sectoral involvement and interaction between bodies, territories, politicians, experts and scholars was launched, which would shortly lead to the National Plan for Adaptation to Climate Change (PNACC). The PNACC has the main goal of identifying a set of connected and synergic activities for adaptation to climate change, articulating four specific objectives: limiting the vulnerability of natural, social and economic systems to the impacts of climate change, increasing adaptability, improving the exploitation of opportunities and encouraging the coordination of actions at different levels.

Within these guidelines, the Green City National Conference aims to support the commitment of cities to tackle climate change, opening a debate that can lead them to become active subjects. The second edition of the Conference, held at the Politecnico di Milano on the 16th of July 2016, had as its central theme the promotion and updating of the plans of measures for adaptation and mitigation. During the Conference, the Declaration for the Green City Climate Adaptation and the decalogue were presented: 1 - defining and updating plans and measures for climate adaptation in the cities; 2 - integrating adaptation measures with mitigation measures (renewable energies, energy

molecola di CO₂ ogni mille miliardi di molecole di anidride carbonica ordinaria). La tecnologia, che a tutt'oggi possiede una sensibilità almeno 1000 volte maggiore delle migliori tecnologie alternative esistenti, è già stata scientificamente validata e consentirà la portabilità di strumenti di misura di altissima precisione in tutto il mondo.

Le misurazioni sino ad oggi effettuate indicano che il tasso di crescita della concentrazione di CO₂ nell'aria è passato dal ritmo 11,4 miliardi di tonnellate (Gt) CO₂ l'anno nel periodo 1960/2008, a 34,4 GtCO₂ l'anno nel periodo 2008-2017. Nel 2018 l'articolo di un gruppo di ricercatori del *Global Carbon Project*, pubblicato sulla rivista *Earth System Science Data* in concomitanza con l'avvio del vertice sul clima (COP24) delle Nazioni Unite a Katowice (Polonia), quantifica il raggiungimento della cifra record di 37,1 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente anno.

Le misurazioni delle concentrazioni di CO₂ in atmosfera permettono di effettuare previsioni sul clima futuro, anche al fine di definire possibili strategie di contrasto degli effetti negativi. Gli approcci a questo tipo di studi sono cambiati notevolmente nel corso degli anni: dai primi tentativi politici basati sul principio "command and control" degli anni '70, si passa, negli anni '90, al più efficace sistema di mercato "cap and trading" del Protocollo di Kyoto e all'ancora più efficace odierna strategia che punta a considerare il CO₂ come una commodity (non un rifiuto) passibile di essere valorizzata anche economicamente.

È già oggi possibile utilizzare la CO₂ nell'industria agro-alimentare come conservante per i cibi o gassificatore di bevande, nell'industria chimica come materia prima per ottenere materiali da costruzioni (policarbonati) e nella produzione di combustibili. Una promettente tecnologia prevede la possibilità di usare fornaci solari per dissociare la CO₂ in CO e O₂, e così facendo alimentare celle a combustibili o carbonati sfusi (MCFC) per la produzione di energia elettrica e termica (ISPRA, 2018).

Soluzioni che influiscono sulla riduzione della CO₂ in atmosfera

La Piattaforma Europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici lanciata nel 2012 a partire dagli obiettivi del Libro Bianco 2009 fornisce utili strumenti di sostegno alle politiche per rendere l'Europa più resiliente ai cambiamenti climatici. Nella strategia europea c'è un forte riferimento alle azioni di adattamento realiz-

Combustibili	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	gCO₂/kWh lorda									
Solidi	876,9	863,2	852,0	914,9	889,7	873,7	862,5	882,1	876,7	899,9
Gas naturale	530,2	519,1	480,4	396,2	388,2	381,8	384,5	369,8	373,1	365,0
Gas derivati	1.816,4	1.855,8	1.498,3	1.906,3	1.664,9	1.630,0	1.495,9	1.606,0	1.793,9	1.624,8
Prodotti petroliferi	683,5	674,0	713,0	675,1	681,1	614,9	629,4	566,0	584,9	564,6
Altri combustibili^[1]	1.231,6	540,0	265,0	296,8	256,6	240,9	212,9	156,4	153,1	144,0
Altri combustibili^[2]	2.463,1	2.439,8	1.253,1	1.394,8	1.385,8	1.373,1	1.385,9	1.322,5	1.323,1	1.294,3
Totale termoelettrico^[1]	708,0	680,6	633,6	570,6	521,7	520,3	528,0	506,1	513,2	488,9
Totale termoelettrico^[2]	708,2	681,7	638,0	581,8	544,0	546,3	560,3	555,5	574,5	544,0

^[1] E' compresa l'elettricità prodotta da rifiuti biodegradabili, biogas e biomasse di origine vegetale.

^[2] E' esclusa l'elettricità prodotta da rifiuti biodegradabili, biogas e biomasse di origine vegetale.

Tab. 1 - Fattori di emissione di anidride carbonica da produzione termoelettrica lorda per combustibile / *Factors of CO₂ emission in the termoelectric production* (Source: https://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R_280_18_Emissioni_Settore_Elettrico.pdf).

zabili a livello urbano. Il *Patto dei Sindaci*, un'iniziativa cui hanno aderito su base volontaria oltre 4.000 autorità locali, ha l'obiettivo di correlare tali strategie alle altre politiche di miglioramento della qualità della vita nei contesti urbani.

Nel giugno 2015 con decreto direttoriale n.86 l'Italia ha approvato una propria *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (SNAC). Per dare attuazione a tale strategia, nel 2016 è stato avviato il processo di coinvolgimento e interazione multisettoriale fra enti, territori, politici, esperti e studiosi che da lì a breve avrebbe portato al *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici* (PNACC). Il PNACC ha l'obiettivo ultimo di identificare un set di attività connesse e sinergiche per l'adattamento ai cambiamenti climatici, declinando quattro obiettivi specifici: contenere la vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici, incrementare la capacità di adattamento degli stessi, migliorare lo sfruttamento delle eventuali opportunità e favorire il coordinamento delle azioni a diversi livelli.

Nell'ambito di questi indirizzi, la Conferenza Nazionale delle Green City mira a supportare l'impegno delle città sul fronte del contrasto al cambiamento climatico, aprendo un dibattito che possa portarle a farsi soggetti attivi. La seconda edizione della Conferenza, svoltasi presso il Politecnico di Milano il 16 luglio 2016, ha avuto come tema centrale la promozione e l'aggiornamento dei piani delle misure per l'adattamento e la mitigazione. Nel corso della Conferenza sono stati presentati la *Dichiarazione per l'Adattamento climatico delle Green City* e il decalogo che ne struttura l'operatività: 1 - definire e aggiornare piani e misure per l'adattamento climatico nelle città; 2 - integrare le misure di adattamento con quelle di mitigazione (energie rinnovabili, risparmio energetico, mobilità sostenibile, economia circolare, ecc.); 3 - aggiornare la valutazione dei rischi e le misure di emergenza e di lungo termine (conoscenza degli impatti urbani del cambiamento climatico quale condizione per reggere gli effetti del cambiamento climatico); 4 - valorizzare le ricadute positive delle misure di adattamento contabilizzando i costi dovuti all'assenza di tali misure; 5 - sviluppare capacità adattive attraverso un processo di apprendimento continuo e continui aggiornamenti e circolazione delle buone pratiche; 6 - puntare di più sulle soluzioni basate sulla natura, di tipo multifunzionale, che offrono vantaggi di bioadattamento, qualità dell'aria, benessere sociale, riduzione del rischio idrogeologico; 7 - ridurre la vulnerabilità e i rischi delle precipitazioni intense riducendo l'impermeabilizzazione del suolo; 8 - affrontare gli effetti dell'isola di calore, anche attraverso le misure per il controllo bioclimatico degli edifici (radiazione solare, ventilazione, raffrescamento); 9 - promuovere investimenti nelle misure di adattamento, anche attraverso partenariati pubblico/privati e nuovi strumenti assicurativi; 10 - rafforzare la governance e il coordinamento degli uffici comunali e dei diversi livelli locale, regionale e nazionale, anche attraverso la partecipazione dei cittadini.

Al momento hanno già aderito al Protocollo più di quaranta realtà urbane di varia grandezza, tra cui Milano, Napoli e Roma. In questo contesto l'impiego delle soluzioni tecniche basate sulla natura (NBS), singolarmente o in modo sistematico e a rete sino a dar luogo a vere e proprie infrastrutture verdi e blu, riveste un ruolo centrale.

Il potenziale di assorbimento della CO₂ derivante da queste soluzioni - tree planting e forestazione, green roof, green walls, bio-basin - dipende dalle capacità di cattura e sequestro di carbonio da parte della vegetazione e del suolo (Davies et

savings, sustainable mobility, circular economy, etc.); 3 - updating risk assessment and emergency and long-term measures (knowledge of the urban impacts of climate change as a precondition to withstand the effects of climate change); 4 - enhancing the positive effects of adaptation measures by accounting for the costs due to the absence of such measures; 5 - developing adaptive skills through a continuous learning process and continuous updates and circulation of good practices; 6 - focusing more on the multi-functional nature-based solutions, which offer bio-adaptation, air quality, social well-being, reduction of hydrogeological risk; 7 - reducing the vulnerability and risks of intense precipitation by reducing soil sealing; 8 - facing the effects of the heat island, also through the measures for the bioclimatic control of buildings (solar radiation, ventilation, cooling); 9 - promoting investments in adaptation measures, including through public / private partnerships and new insurance instruments; 10 - strengthening the governance and coordination of municipal offices and of the different local, regional and national levels, also through the participation of citizens.

Currently, more than forty cities of different dimension have already joined the Protocol, including Milan, Naples and Rome.

In this context, the use of technical solutions based on nature (NBS), stand-alone or in a systematic and networked way such as real green and blue infrastructures, plays a central role.

The potential absorption of CO₂ deriving from these solutions - tree planting and forestation, green roofs, green walls, bio-basins - is based on the capturing and sequestration of carbon capacity of vegetation and soil (Davies et al., 2011; Pataki et al., 2006) and in any case requires a site specific punctual evaluation, because the performances can considerably vary even in relation to the conformation of the context and to the configuration of the adopted solutions. In coherence to their multifunctional nature, the benefits achievable through the NBSs and the GBIs must also be verified considering the possibility of integration with the mitigation policies and with the actions of adaptation. Indeed, it is relevant to consider the co-benefits terms of energy efficiency, improvement of the environmental quality and use of urban space.

In general terms, it can be assumed that, on an urban and district scale, the presence and/or the creation of large green areas and densely planted trees (large belt parks and large urban parks) can represent a significant resource in terms of "storage" of CO₂, more or less effective in relation to the leaf area index (LAI-Leaf Area Index) of the trees present, but certainly more significant than for example the green roofs or green walls.

The methods and tools for the evaluation of the capacity of sequestration of CO₂ of vegetation refer to direct measurements

(with extraction and weighing of the biomass from the root system of the plants) or to parametric estimations that take into account the characteristics of the trees (DBH- Diameter Breast Height), such as those at the base of the UFORE model developed by the USDA-United States Department of Agriculture, which can be implemented using the I-Tree software, which allows the calculation procedure to be adapted to the specificities of the environmental context and with reference to a high number of tree and shrub species.

al., 2011; Pataki et al., 2006) e richiede in ogni caso una valutazione puntuale *site specific*, perché le prestazioni possono variare in modo anche considerevole in relazione alla conformazione del contesto e alla stessa configurazione delle soluzioni adottate. In coerenza con la loro natura multifunzionale, i benefici conseguibili attraverso le NBS e le GBI devono inoltre essere verificati considerando la possibilità di integrare politiche di mitigazione e adattamento ad azioni di valorizzazione dei co-benefici derivanti ad esempio in termini di efficienza energetica e di miglioramento della qualità ambientale e fruitiva dello spazio urbano.

In termini generali si può assumere che, a scala urbana e di distretto, presenza e/o la formazione di aree verdi di grandi dimensioni e di densamente alberate (grandi parchi di cintura e parchi urbani di ampia estensione) possa rappresentare una risorsa rilevante in termini di “stoccaggio” di CO₂, più o meno efficace in relazione all’indice di area fogliare (LAI-Leaf Area Index) delle alberature presenti, ma certamente più significativa rispetto ad esempio ai green roof o ai green wall.

I metodi e gli strumenti per valutare la capacità di sequestro di CO₂ da parte della vegetazione fanno riferimento a misurazioni dirette (con estrazione e pesatura della biomassa direttamente dall’apparato radicale delle piante) o a stime parametriche che tengono conto delle caratteristiche delle alberature (DBH-Diameter Breast Height), quali quelle alla base del modello UFORE sviluppato dall’USDA-United States Department of Agriculture, implementabile attraverso l’utilizzo del software I-Tree, che consente di adattare il procedimento di calcolo alle specificità del contesto ambientale e con riferimento a un elevato numero di specie arboree e arbustive.

References

- Aengenheyster, M., Qing Yi Feng, Q., van der Ploeg, F. & Dijkstra H.A. (2018) “The point of no return for climate action: effects of climate uncertainty and risk tolerance”, *Earth Syem Dynamics*, vol. 9, pp. 1085-1095.
- Allen, M.R., Dube, O.P. , Solecki, W., Aragón-Durand, F., Cramer, W., Humphreys, S., Kainuma, M., Kala, J., Zickfeld, K. et al.(2018), “Framing and Context”, in Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O., Pörtner, D., Roberts, J., Skea, P.R., Shukla, A., Pirani, W., Moufouma-Okia, C., Péan, R., Pidcock, S., Connors, J.B.R., Matthews, Y., Chen, X., Zhou, M.I., Gomis, E., Lonnoy, T., Maycock, M., Waterfield, T. et al.(eds), *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*, available at: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf (accessed 22 July 2019).
- IPCC (2018), *Special report: Global warming of 1,5°C*, available at: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (accessed 22 July 2019).
- ISPRA (2018), available at: http://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R_280_18_Emissioni_Settore_Elettrico.pdf (accessed 22 July 2019).
- Maslin, M. (2004), *Global Warming, a very short introduction*, Oxford University Press, Oxford.

Websites

- Climate ADAPT, available at: <https://climate-adapt.eea.europa.eu>
- Decreto Direttoriale 16 giugno 2015, n. 86, available at: <https://www.minambiente.it/normative/decreto-direttoriale-16-giugno-2015-n-86-approvazione-del-documento-strategia-nazionale-di>
- Piano Nazionale di Adattamento ai cambiamenti Climatici (PNACC), available at: https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio_immagini/adattamenti_climatici/documento_pnacc_luglio_2017.pdf