

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** Euromediterrané-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

Greenhouse Gases

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

Le emissioni in atmosfera di anidride carbonica (CO₂) e di altri gas che concorrono al cosiddetto “effetto serra” hanno ormai raggiunto una soglia critica, tanto da divenire oggetto di policy internazionali e di interventi per la mitigazione e l’adattamento al *climate change*. Infatti le emissioni dei cosiddetti Green House Gasses (GHG) sono riconosciute come impattanti sul riscaldamento globale (GWP - *Global Warming Potential*). La valutazione delle emissioni rispetto al GWP necessita di comparare situazioni ambientalmente diversificate. L’“impronta di carbonio” o *carbon footprint* (CF), è lo strumento normalmente utilizzato per definire la quantità di GHG derivante da un prodotto o un servizio antropico.

In generale, la misurazione della CF può essere applicata a un’ampia gamma di prodotti e processi, attraverso un approccio metodologico piuttosto complesso e articolato, che richiede valutazioni estese al loro ciclo di vita (LCA), in grado di individuare e quantificare sia le risorse impiegate che le emissioni generate lungo l’intera filiera produttiva, estendendole alle fasi d’uso e gestione, sino al fine vita (materie prime utilizzate, trasporti necessari, consumo di energia e altre risorse, produzione dei rifiuti, emissioni in aria, acqua o suolo, ecc.).

Fino a poco tempo fa non esisteva una definizione univoca e una modalità di misurazione e quantificazione della CF e delle emissioni di GHG da considerare per la misurazione del GWP. Allo stesso modo non erano chiare le unità di misura e i limiti da considerare nell’analisi.

La pubblicazione del 2013 “*Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification*” diventa riferimento normativo unico per la definizione della CF e per la costruzione della norma ISO 14067:2018¹, che definisce la CF come «l’ammontare totale di gas ad effetto serra emessi direttamente o indirettamente da un’attività, un prodotto, un’azienda o una persona, ed è un indicatore dell’impatto che le attività umane hanno sui cambiamenti climatici».

La CF è dunque un indicatore ambientale che misura l’impatto delle attività umane sul GWP considerando sia l’emissione diretta di CO₂, sia quella dei GHG indicati dal Protocollo di Kyoto (CH₄, N₂O, HFCs, SF₆, PFCs) e misurati in termini di “anidride carbonica equivalente” (CO₂eq). Tale quantificazione pondera il contributo di ogni gas all’aumento dell’effetto serra rispetto a quello della CO₂.

La CO₂eq è quindi l’unità di misura degli impatti sul GWP di una certa quantità

The technical and cultural context

The atmospheric emissions of carbon dioxide (CO₂) and other gases that contribute to the so-called “greenhouse effect” have now reached a critical threshold, so much so that they have become the subject of international policies and measures for the mitigation and adaptation to climate change. In fact, the emissions of the so-called Green House Gasses (GHG) are recognized as having an impact on global warming (GWP - Global Warming Potential). The assessment of emissions compared to GWP requires a comparison of environmentally diverse situations. The “carbon footprint” (CF) is the tool normally used to define the amount of GHG deriving from an anthropic product or service.

In general, the CF measurement can be applied to a wide range of products and processes, through a rather complex and articulated methodological approach, which requires assessments extended to their life-cycle (LCA), capable of identifying and quantifying both the resources and the emissions generated along the entire production chain, including the use and management phases, up to the end of life (raw materials used, necessary transport, consumption of energy and other resources, waste production, emissions to air, water or soil, etc.).

Until recently, there was no clear definition and no way of measuring and quantifying CF and GHG emissions to be considered for measuring GWP. In the same way, the units of measurement and the limits to be considered in the analysis were not clear.

The 2013 publication Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification becomes the regulatory reference for the definition of the CF and for the construction of the ISO 14067: 2018¹ standard, which defines the CF as «the total amount of greenhouse gases emitted directly or indirectly by an activity, a product, a company or a person, and it is an indicator of the impact that human activities have on climate change».

¹ Recepita dall’UNI ed entrata in vigore in Italia il 30 ottobre 2018 (UNI EN ISO 14067:2018).

¹ Recognized by UNI and come into effect in Italy on October the 30th 2018 (UNI EN ISO 14067:2018).

CF is therefore an environmental indicator that measures the impact of human activities on the GWP considering both the direct emission of CO₂ and that of the GHG indicated by the Kyoto Protocol (CH₄, N₂O, HFCs, SF₆, PFCs) and measured in terms of “carbon dioxide equivalent” (CO₂eq). This quantification weighs the contribution of each gas to the increase in the greenhouse effect compared to that of CO₂.

CO₂eq is therefore the unit of measurement of the impacts on the GWP of a certain amount of greenhouse gas compared to the same amount of carbon dioxide (CO₂) and is used to compare and sum together the contributions of the various GHGs².

In recent years, various reference standards have been developed which guarantee the methodology and correctness of measurements, and which constitute an effective system for comparing the CF of different products and services. The references most applied are: ISO 14044 Standard (PAS 2050, by the British Standard Institution <http://www.bsigroup.com/PAS2050>); WRI / WBCSD GHG Protocol Product Standard, developed by the World Resource Institute and World Business Council for Sustainable Development <http://www.ghgprotocol.org/standards>).

Measurement and application

There are two main fields of application for CF. The first is applied and it measures the so-called “product CF”. Generally expressed in tons of CO₂eq, it considers the overall emissions of all life stages, comparing them to the GWP of the CO₂ (taking into account the supply and treatment phases of the raw materials, those of processing for the production of the product / service, storage and transport, the use and management phase, end of life disposal). The second, defined as the “organization CF”³, considers the resources consumed and the emissions produced by the companies that deal with the production of goods and the provision of services.

These applications derive from the need to contain globally the GHG emissions. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) of 1992 set for the first time the goal of stabilizing the concentration of greenhouse gases in the atmosphere. The Kyoto Protocol, the most important im-

2 The equivalences between CO₂ and GHG were developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, which associated with each gas a “global warming potential-GWP” comparable to the effects of CO₂ in a given interval of time, taking CO₂ as the reference gas (CO₂ GWP = 1).

3 For “Organization”, the ISO 14064 standard means both Companies and Supra-corporate organizational structures (such as holding companies, groups, etc.) but also, in a broader sense, individual construction sites, production sites, tenders, etc.

Inquinante	GWP
CO ₂ – Anidride carbonica	1
CH ₄ – Gas metano	21
N ₂ O – Ossido di diazoto	310
SF ₆ – Esafluoruro di zolfo	23900
PCF – Composti perfluorurati	6500 ÷ 9200
HFC – Idrofluorocarburi	140 ÷ 11700

Tab. 1 - GWP dei principali gas inquinanti / GWP of the main polluting gases (Source: IPCC, 2007).

di gas serra rispetto alla stessa quantità di anidride carbonica (CO₂) e viene utilizzata per confrontare e sommare tra loro i contributi dei diversi GHG².

Negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi standard di riferimento che garantiscono la metodologia e la correttezza delle misure, e che costituiscono un sistema efficace per comparare la CF di prodotti e servizi diversi. I riferimenti maggiormente applicati sono: Standard ISO 14044 (PAS 2050, a cura del British Standard Institution <http://www.bsigroup.com/PAS2050>); WRI/WBCSD GHG Protocol Product Standard, sviluppato dal World Resource Institute e World Business Council for Sustainable Development <http://www.ghgprotocol.org/standards>).

Misurazione e applicazione

Due sono i principali campi di applicazione della CF.

Il primo è applicato e misura la cosiddetta “CF di prodotto”. Generalmente espressa in tonnellate di CO₂eq, considera le emissioni complessive di tutte le fasi di vita, rapportandole al GWP della CO₂ (la contabilità considera le fasi di approvvigionamento e trattamento delle materie prime costitutive, quelle di lavorazione per la produzione del prodotto/servizio, lo stoccaggio e i trasporti, la fase di utilizzo e gestione, lo smaltimento a fine vita). Il secondo, definito come la “CF di organizzazione”³, considera le risorse consumate e le emissioni prodotte dalle aziende che si occupano di produzione di beni e fornitura di servizi.

Tali applicazioni derivano dall’esigenza di contenere a livello globale le emissioni di GHG. La Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) del 1992 ha posto per la prima volta l’obiettivo di stabilizzare la concentrazione dei gas serra in atmosfera. Il Protocollo di Kyoto, il più importante strumento attuativo della Convenzione, ha imposto una riduzione delle emissioni di GHG pari ad almeno il 5% rispetto ai valori del 1990, impegnando i Paesi sottoscrittori ad adeguare di conseguenza le proprie emissioni, anche attraverso forme di cooperazione e criteri compensativi. Nel 2016 i partner della Conven-

2 Le equivalenze tra CO₂ e GHG sono state elaborate dal Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC), che ha associato a ogni gas un “potenziale di riscaldamento globale-GWP” equiparabile agli effetti della CO₂ in un dato intervallo di tempo, assumendo la CO₂ come gas di riferimento (GWP della CO₂=1).

3 Per “Organizzazioni” lo standard ISO 14064 intende sia Aziende o Strutture organizzative sovra-aziendali (quali Holding, Gruppi, etc.) ma anche, in senso più ampio, singoli cantieri, siti produttivi, appalti, etc.

zione hanno deciso nuove misure per limitare l'aumento medio della temperatura globale, riportandolo a valori inferiori a livelli pre-industriali. Per raggiungere tale obiettivo, oltre alle soluzioni di contrasto basate sui limiti all'emissione di GHG, è stata riconosciuta l'importanza di ridurre quelli già presenti in atmosfera.

I principali sono il vapore acqueo (H₂O), l'anidride carbonica (CO₂), il protossido di azoto (N₂O), il metano (CH₄), i fluorocarburi (PFC) e l'esasolfuro di zolfo (SF₆). Di origine sia naturale che antropica, ciascuno di essi ha uno specifico impatto sul sistema climatico il cui valore è calcolato considerandone la forzante

plementing instrument of the Convention, imposed a reduction of GHG emissions of at least 5% compared to 1990 values, committing the signatory countries to adjust their emissions accordingly, also through forms of cooperation and compensatory criteria. In 2016, the partners of the Convention decided on new measures to limit the average increase in global temperature, bringing it back to values lower than pre-industrial levels. To achieve this goal, in addition to the contrast solutions based on the limits on the emission of GHG, the importance of reducing those already present in the atmosphere was recognized.

The main ones are water vapor (H₂O), carbon dioxide (CO₂), nitrous oxide (N₂O), methane (CH₄), fluorocarbons (PFC) and sulfur hexasulphide (SF₆). Of both natural and anthropic origin, each of them has a specific impact on the climate system whose value is calculated considering its forcing radiative, concentration and permanence in the atmosphere.⁴ Considering the quantities of GHG emitted into the atmosphere, it is possible to carry out analyzes, estimates and comparisons of their degree of contribution to the greenhouse effect and the determination of the quantity of CO₂eq in relation to the quantity of carbon dioxide (CO₂) (tab. 2).

The Figure 1 shows the variation of the contributions of single gases to the CO₂eq. from 1950 to 2016⁵, meanwhile the Figure 2 shows the increasing concentration of CO₂ in atmosphere for the last 50 years.

The conversion of a GHG into tons of CO₂eq also considers the time spent in the atmosphere. The conversion figure is currently valued on a 100-year basis.

The European Environment Agency (EEA) contemplates different methods for aggregating the concentration of GHG, as well as various units of measurement to express the potential of GWP associated with the individual gas. With reference to the first aspect, three different approaches are considered: grouping only the six gases produced by man considered by the Kyoto Protocol; grouping the Kyoto Protocol gases and the Montreal Protocol gases (chlorofluorocarbons, hydrochlorofluorocarbons and chloroform); considering all greenhouse gases including ozone, water vapor and aerosols⁶.

The EU Regulation n. 517 of 16th of April 2014 supplies the GWP of different mixtures and describes the method for calcu-

4 <https://climatepolicyinfohub.eu/glossary/co2eq>

5 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment/#fieldset-legend-a1683190941e4d41ade91c04b99599ae-0>

6 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment/#fieldset-legend-a1683190941e4d41ade91c04b99599ae-0>

Industrial Designation or Common Name (years)	Chemical Formula	Lifetime (years)	Radiative Efficiency (W m ⁻² ppb ⁻¹)	Global Warming Potential for Given Time Horizon			
				SAR ¹ (100-yr)	20-yr	100-yr	500-yr
Carbon dioxide	CO ₂	See below ^a	1.4x10 ⁻⁶	1	1	1	1
Methane ^c	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Nitrous oxide	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Substances controlled by the Montreal Protocol							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Carbon tetrachloride	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Methyl bromide	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Methyl chloroform	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClF ₂ CF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₂ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181
Hydrofluorocarbons							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152a	CH ₂ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHF ₂ CF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
Perfluorinated compounds							
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200

Tab. 2 - Conversione dei GHG in CO₂eq secondo diversi orizzonti temporali (Source: Ricerche IPCC/TEAP, 2005).

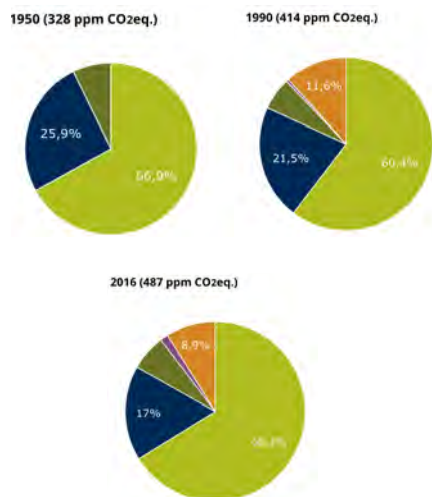


Fig. 1 - Contributo dei gas alla CO₂eq dal 1950 al 2016 / Gases contributions to CO₂eq from 1950 to 2016 (Source: EEA).

lating the CO₂ of different aggregate gases. The method is based on the weighted average obtained from the sum of the weight fractions of the individual substances multiplied by the respective global warming potential (GWP), according to the formula:

$$\Sigma (\text{substance } X\% \times \text{GWP}) + (\text{substance } Y\% \times \text{GWP}) + (\text{substance } N\% \times \text{GWP}),$$

where% is the contribution by weight with a tolerance of $\pm 1\%$.

Normally the calculation methodology used to quantify GHG emissions is based on the multiplication between the "Activity data"⁷ and the corresponding "Emission factor"⁸.

Finally, the data collected contribute to the construction of an GHG inventory of the activity under consideration.

The limits of the evaluation are highlighted mainly in the following aspects:

- on the one hand, the availability of the "Activity data" considers whether the data are available, estimated and accurate and if the registration system needs improvement. The procedure defined by the standards provides assigning values on a scale from 1 to 3 as follows: data not available (1); estimated data (2); accurately calculated or reliably mea-

7 The "Activity Data" is the quantity, generated or used, which describes the activity, expressed in terms of energy (J or MWh, mass (Kg) or volume (mc or l)).

8 The "Emission factor" is the factor that can transform the quantity into the consequent emission of GHG, expressed in CO₂ emitted per unit of given activity.



Fig. 2 - Andamento della concentrazione di CO₂ in atmosfera / CO₂ concentration in atmosphere (Source: European Environment Agency, 2019).

radiativa, la concentrazione e la permanenza in atmosfera.⁴ Partendo dai quantitativi di GHG emessi in atmosfera, è possibile effettuare analisi, stime e comparazioni del loro grado di contribuzione all'effetto serra e alla determinazione della quantità di CO₂eq in rapporto alla quantità di anidride carbonica (CO₂) (Tab. 2).

La Figura 1 indica il variare del contributo dei singoli gas alla CO₂eq dal 1950 al 2016⁵, mentre la Figura 2 mostra l'innalzamento della concentrazione di CO₂ in atmosfera degli ultimi 50 anni. La conversione in tonnellate di CO₂eq di un GHG considera anche il tempo di permanenza in atmosfera. Attualmente il dato di conversione è valutato su base 100 anni. L'Agenzia Europea per l'Ambiente (European Environment Agency - EEA) contempla diversi metodi per aggregare la concentrazione dei GHG, così come varie unità di misura per esprimere il potenziale di GWP associato al singolo gas. Con riferimento al primo aspetto sono considerati fondamentalmente tre diversi approcci: raggruppare i soli sei gas prodotti dall'uomo considerati dal Protocollo di Kyoto; raggruppare i gas del Protocollo di Kyoto e i gas del Protocollo di Montreal (clorofluorocarburi, idroclorofluorocarburi e cloroformio); considerare tutti i gas a effetto serra compresi ozono, vapore acqueo e gli aerosol⁶.

Il Regolamento (UE) n. 517 del 16/04/2014 fornisce il GWP di diverse miscele e descrive il metodo per calcolare la CO₂ di diversi gas aggregati. Il metodo si basa sulla media ponderata ottenuta dalla somma delle frazioni di peso delle singole sostanze moltiplicate per il rispettivo potenziale di riscaldamento globale (GWP), secondo la formula:

$$\Sigma (\text{sostanza } X \% \times \text{GWP}) + (\text{sostanza } Y \% \times \text{GWP}) + (\text{sostanza } N \% \times \text{GWP})$$

4 <https://climatepolicyinfohub.eu/glossary/co2eq>

5 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment/#fieldsetlegend-a1683190941e4d41adef1c04b99599ae-0>.

6 <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment/#fieldsetlegend-a1683190941e4d41adef1c04b99599ae-0>

dove % è il contributo in peso con una tolleranza pari a ± 1 %.

Normalmente la metodologia di calcolo utilizzata per quantificare le emissioni di GHG è basata sulla moltiplicazione tra il “Dato attività”⁷ e il corrispondente “Fattore di emissione”⁸. I dati raccolti concorrono infine alla costruzione di un inventario dei GHG dell’attività presa in esame. I limiti della valutazione si evidenziano principalmente nei seguenti aspetti:

- da una parte la disponibilità del “dato attività” considera se i dati sono disponibili, stimati e accurati e se il sistema di registrazione necessita miglioramenti. La procedura definita dalle norme prevede di assegnare valori su una scala da 1 a 3 come segue: dati non disponibili (1); dati stimati (2); dati calcolati accuratamente o misurati in modo affidabile (3);
- dall’altra, l’affidabilità del “fattore di emissione” tiene in considerazione se il fattore risulta da una fonte attendibile quale, ad esempio, un’organizzazione nazionale o internazionale, oppure un gruppo indipendente; anche in questo caso la scala di riferimento va da 1 a 3 come segue: assenza di fattori di emissione (1); fattori di emissione riportati in riviste o database scientifici, ma non completamente rappresentativi delle condizioni del sito (2); fattori di emissione riportati da organizzazioni nazionali o internazionali o misurati in accordo con gli standard internazionali, e completamente rappresentativi delle condizioni del sito (3).

Ne risulta che la qualità della valutazione dipende dal grado di disponibilità del “Dato attività” e dall’affidabilità del “Fattore di emissione”. Più il punteggio conseguito sarà alto, più alto sarà il grado di affidabilità.

Soluzioni che influiscono sulla riduzione del GWP

In letteratura sono disponibili numerosi studi su metodologie e buone pratiche per la rimozione della CO₂ e/o dei GHG dall’atmosfera: si va dalle soluzioni di geo-ingegneria per la cattura e lo stoccaggio del carbonio nel sottosuolo, al rimboschimento diffuso, sino alla possibilità di utilizzare particolari tecnologie chimico/fisiche, come per esempio le basse temperature.

Williamson (2016) fornisce una sintesi di queste tecnologie, ponendo il tema fondamentale della valutazione della loro efficacia in rapporto alla scala di applicazione.

Nei contesti di rigenerazione urbana sostenibile e resiliente, le NBS (piantumazioni, bio-bacini di infiltrazione e ritenzione, prati, tetti e muri verdi) costituiscono una delle soluzioni più efficaci per l’assimilazione della CO₂ presente in atmosfera e per la riduzione di GHG. I benefici ecologico ambientali prodotti dall’uso di tali soluzioni non sono solo quelli diretti (assimilazione della CO₂, cattura degli inquinanti aerei, inclusi il GHG e l’NO₂), ma anche quelli che contribuiscono alla riduzione della CF di organizzazione e di prodotto (minori emissioni per la gestione delle acque nei sistemi idrici integrati e per la climatizzazione degli edifici).

I benefici ambientali connessi alla riduzione della CO₂eq da parte delle NBS, in ogni caso, possono variare - anche considerevolmente - in ragione delle condizioni climatiche e botaniche, e anche delle modalità di realizzazione dei sistemi naturali di infiltrazione (biobacini e tetti verdi).

7 Il “Dato attività” è la quantità, generata o utilizzata, che descrive l’attività, espressa in termini di energia (J o MWh, massa (kg) o volume (mc o l)).

8 Il “Fattore di emissione” è il fattore che può trasformare la quantità nella conseguente emissione di GHG, espressa in CO₂ emessa per unità di dato attività.

sured data (3);

- on the other, the reliability of the “Emission factor” takes into account whether the factor is from a reliable source such as, for example, a national or international organization, or an independent group; also in this case the reference scale goes from 1 to 3 as follows: absence of emission factors (1); emission factors reported in scientific journals or databases, but not completely representative of the site conditions (2); emission factors reported by national or international organizations or measured in accordance with international standards, and fully representative of the site conditions (3).

As a result, the quality of the assessment depends on the degree of availability of the “Activity data” and on the reliability of the “Emission factor”. The higher the score, the higher the degree of reliability.

Solutions that affect GWP reduction

In literature, numerous studies are available on methodologies and good practices for removing CO₂ and / or GHG from the atmosphere: ranging from geoengineering solutions for the capture and storage of carbon in the subsoil, to widespread reforestation, up to possibility of using particular chemical/physical technologies, such as low temperatures.

Williamson (2016) provides an interesting summary of these technologies, placing the fundamental theme of evaluating their effectiveness and impact in relation to the scale of application.

In contexts of sustainable and resilient urban regeneration, NBS (plantations, bio-infiltration and retention basins, lawns, roofs and green walls) constitute one of the most effective solutions for the assimilation of the CO₂ present in the atmosphere and for the reduction of GHG.

The ecological environmental benefits produced by the use of these solutions are not only direct (assimilation of CO₂, capture of air pollutants, including GHG and NO₂), but also those that contribute to the reduction of the organization and product CF (lower emissions for water management in integrated water systems and for building air conditioning).

The environmental benefits associated with the reduction of CO₂eq by the NBS, in any case, can vary - also considerably - due to the climatic and botanical conditions, as well as to the methods of realization of the natural infiltration systems (bio-basins and green roofs).

UBICAZIONE E CARATTERISTICHE					INDICATORI									
	Ubicazione in Progetto	Numero	Impianto	Emissione VOC	Minor consumo kWh (*)		Rimozione inquinanti aerei (**)				CO2 (***)		Deflusso acque meteoriche evitato dalle chiome (****)	
U.M.		Nr.	m		KWh/albero*anno	Kg CO2eq.*albero/anno	Kg.*albero/anno				Kg CO2eq.*albero/anno	Kg CO2*albero/anno	l/albero*anno	KgCO2eq./mc*anno
			Altezza albero al momento dell'impianto				O3	PM10	SO2	NO2	Equivalente	Assimilata		
Celtis Australis	Via Serio lato Sud	21	8/10	Bassa	136	66,4904	0,130	0,143	0,265	0,186	55,428	325	2150	0,5418
Liriodendron Tulipifera	Via Ampola	6	8/10	Media	136	66,4904	0,25	0,21	0,425	0,32	95,36	430	1570	0,39564
Liquidambar styraciflua	Via Ampola	6	8/10	Media	136	66,4904	0,13	0,127	0,35	0,11	32,78	320	1450	0,3654
Fraxinus Hornus	Giardino Sud	8	4-6	Bassa	48	23,4672	0,35	0,125	0,05	0,1	29,8	59	625	0,1575
Pyrus calleryana	Giardino Nord	4	4-6	Medio-Bassa	67	32,7563	0,05	0,05	0,1	0,05	14,9	84	200	0,0504
Tilia platyphyllos	Giardino Nord e Sud	10	16-20	Bassa	136	66,4904	0,3	0,152	0,32	0,6	178,8	231	2000	0,504
Ligustrum lucidum	Via Ampola- Via Serio- Giardino Nord-Est	100	1,5	Bassa			0,08	0,05	0,1	0,09	26,82	23		
Photinia red Robin	Via Ampola- Via Serio- Giardino Nord-Est	80	1,8	Bassa			0,08	0,05	0,1	0,09	26,82	23		
(*)	Valori di riduzione desunti da bibliografia (CNT, 2010, McPherson E., et Al., 2006). Valore di produzione di CO2eq. per kWh prodotto è assunto pari a 0,4889 Kg (ISPRA 2017)													
(**)	I valori unitari sono stati desunti dal database qualiviva e dalla simulazione fatta con il software I-Tree eco v.6 sull'area di progetto. Per la determinazione della CO2 equivalente il valore assunto è di 298 Kg di CO2 eq. per Kg di NO2 rimosso (IPCC,2007)													
(***)	I valori unitari di CO2 assimilata per anno sono stati desunti dal database qualiviva e mediati dalla simulazione fatta con il software I-Tree eco v.6 sull'area di progetto													
(****)	I valori unitari sono stati desunti dalla simulazione fatta con il software I-Tree eco v.6 sull'area di progetto e riportati alla media di piovosità decennale (1086 mm di pioggia/anno) misurata dalla centralina ARPA via Juvara, Milano ID stazione 502. Per il calcolo della CO2 equivalente il valore di 0.252 Kg/mc*anno è stato desunto dall'analisi dell'impronta di carbonio della società CAP Holding SPA per gli anni 2016 e 2017 (CAP Holding, bilancio ambientale), riferita all'attività di trattamento delle acque meteoriche (reti e depuratori).													

Tab. 4 - Esempio di conversione in CO₂eq dei benefici ecologico ambientali derivanti da piantumazione nel contesto di Milano / *Example of conversion in CO₂eq of the ecological environmental benefits deriving from planting in Milan* (Source: Progetto Proxima, bando C40 - elaboration by Davide Cerati).

References

- Carbon Footprint of Nations, available at: <http://carbonfootprintofnations.com/>
- Cerati, D. (2019), *Nature-based Solutions and open spaces regeneration. Methods, tools and indicators for environmental design and assessment*, Tesi di Dottorato, Politecnico di Milano, XXXI ciclo, Relatore: prof. Andrea Tartaglia, Tutor: prof. Elena Mussinelli.
- De Groot, R. (2010), *Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation*, TEEB, pp. 9-40.
- European Commission, Joint Research Center (2007), *Carbon Footprint - what it is and how to measure it*
- Gohar, L. & Shine, K. (2007), "Equivalent CO₂ and its use in understanding the climate effects of increased greenhouse gas concentrations", *Weather*, Nov 2007, pp. 307-311
- Heggermont, H. (2015), "Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe", *GAIA - Eco. Persp. on Science and Society*, 24(4), pp. 243 - 248
- Hertwich, E. & Peters, G. (2009), "Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis". *Environ. Sci. Technol.*, 43(16), pp. 6414-6420.
- Luciani, R., Masoni, P., Santino D. (2011), "Indicatori di sostenibilità ambientale: la carbon footprint", *Energia, Ambiente e Innovazioni*, vol. 3.
- Pernigotti, D. (2007), *Come affrontare i cambiamenti climatici*, Il Sole 24 Ore, MilanWo.
- Pernigotti, D. (2011), *Carbon Footprint – Calcolare e comunicare l'impatto dei prodotti sul clima*. Edizioni Ambiente.
- United Nations Environment Program, Climate Change, available at: <http://www.unep.org/climatechange/>
- Williamson P. (2016), "Emission reduction: Scrutinize CO₂ removal methods, Nature", *Inter. weekly Journal of Science*, 530(7589), pp. 153-155.

Websites

- <https://climatepolicyinfohub.eu/glossary/co2eq>
- <https://www.minambiente.it/pagina/la-storia-degli-accordi-internazionali-sul-clima>
- <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations-6/assessment/#fieldsetlegend-a1683190941e4d41adef1c04b99599ae-0>