

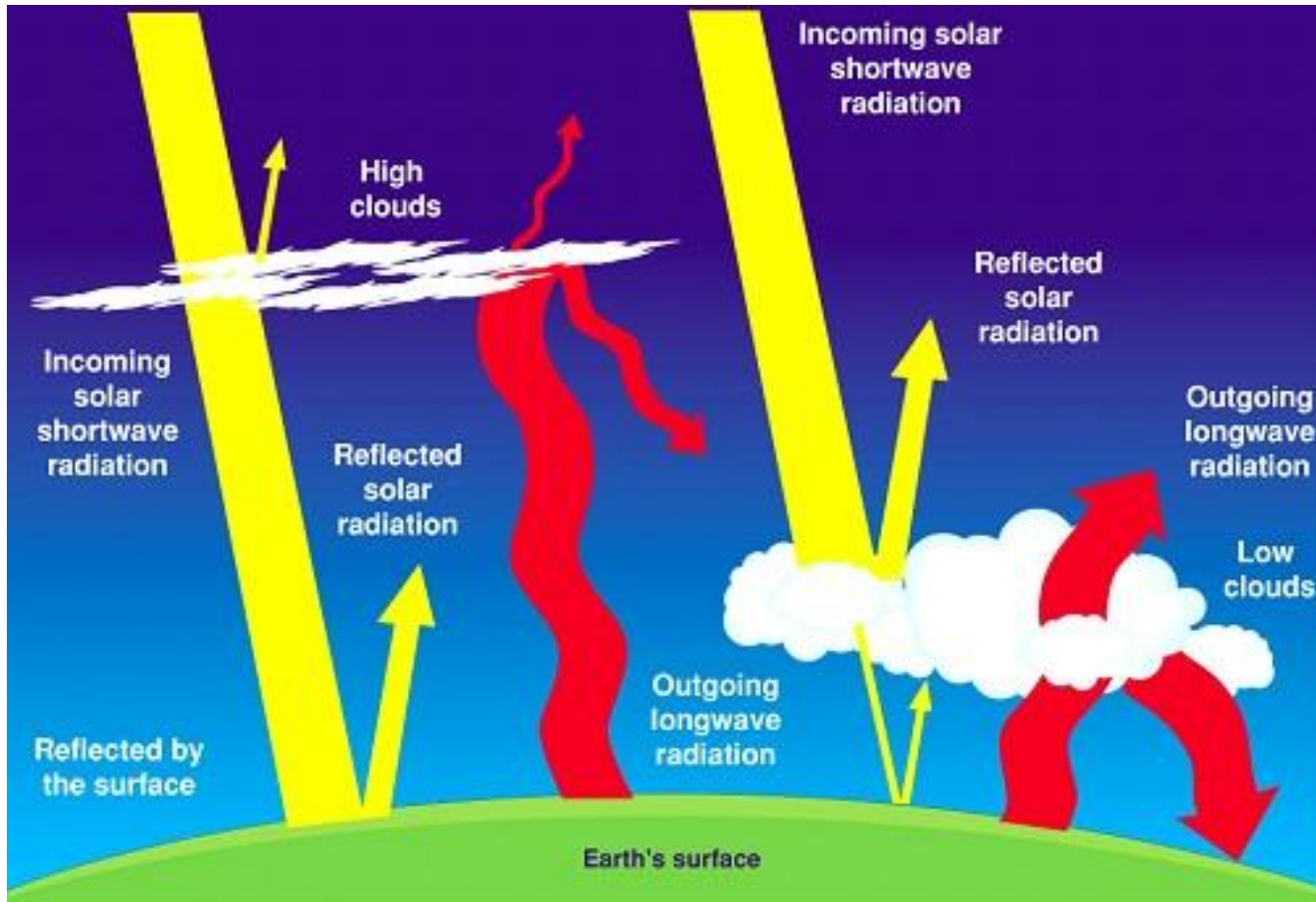
GAS SERRA



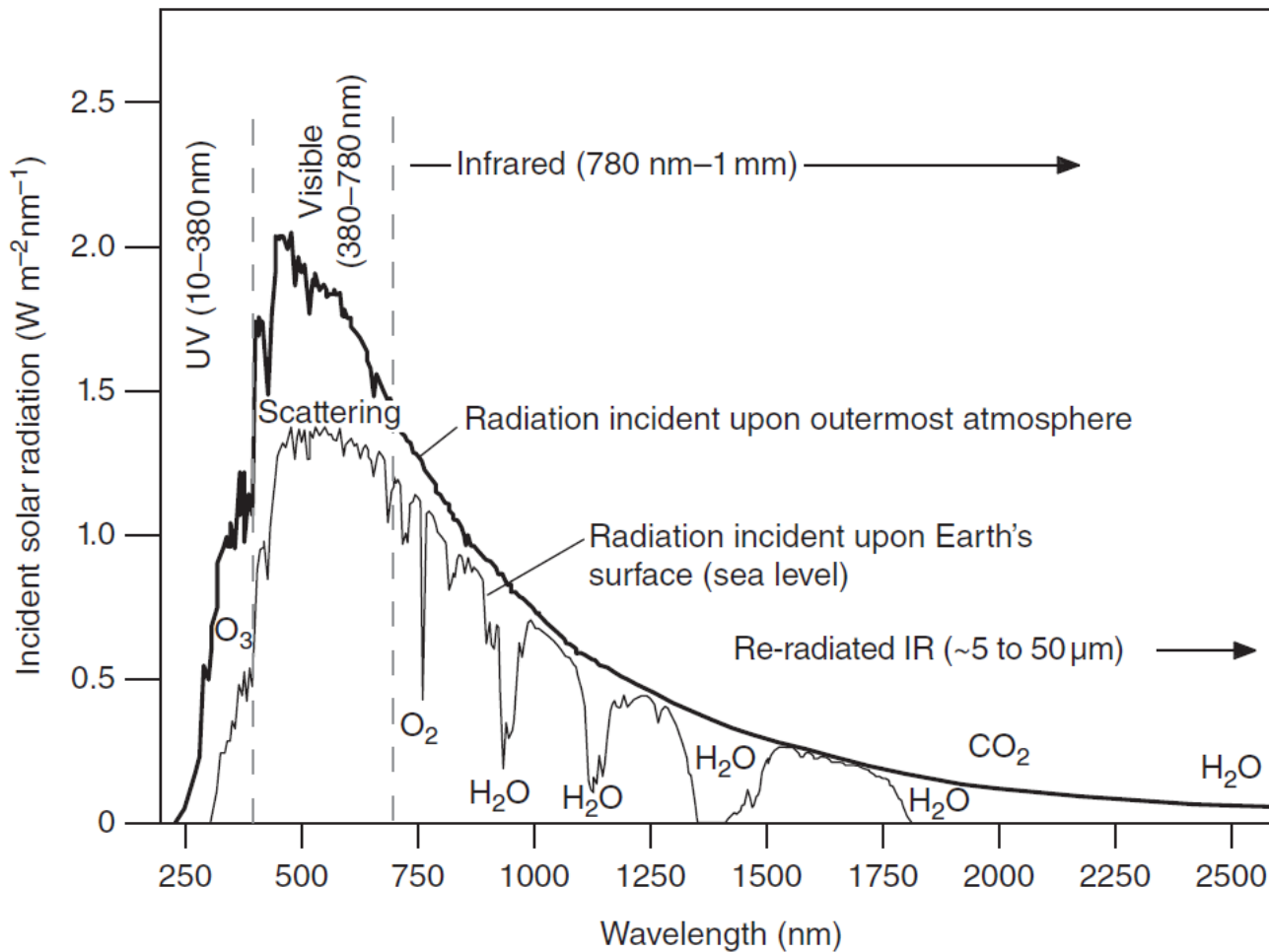
BILANCIO ENERGETICO TERRESTRE



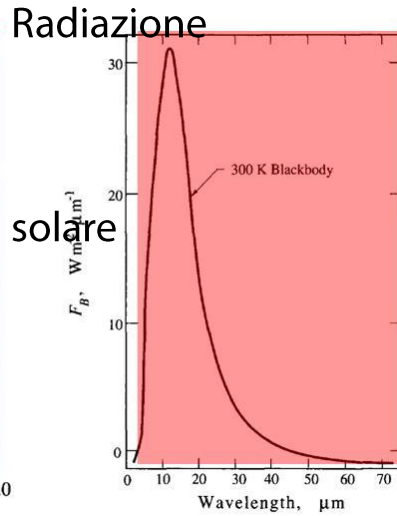
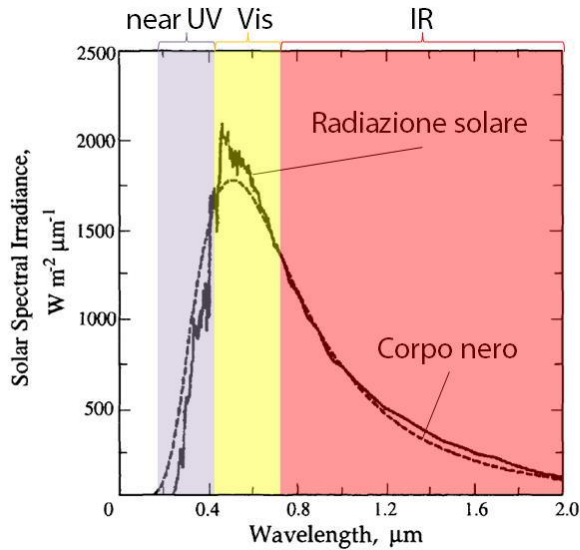
Bilancio termico terrestre



Radiazione solare



Radiazione terrestre



Radiazione terrestre in base alla legge di Wien:

$$\lambda_{\text{peak}} = b/T$$

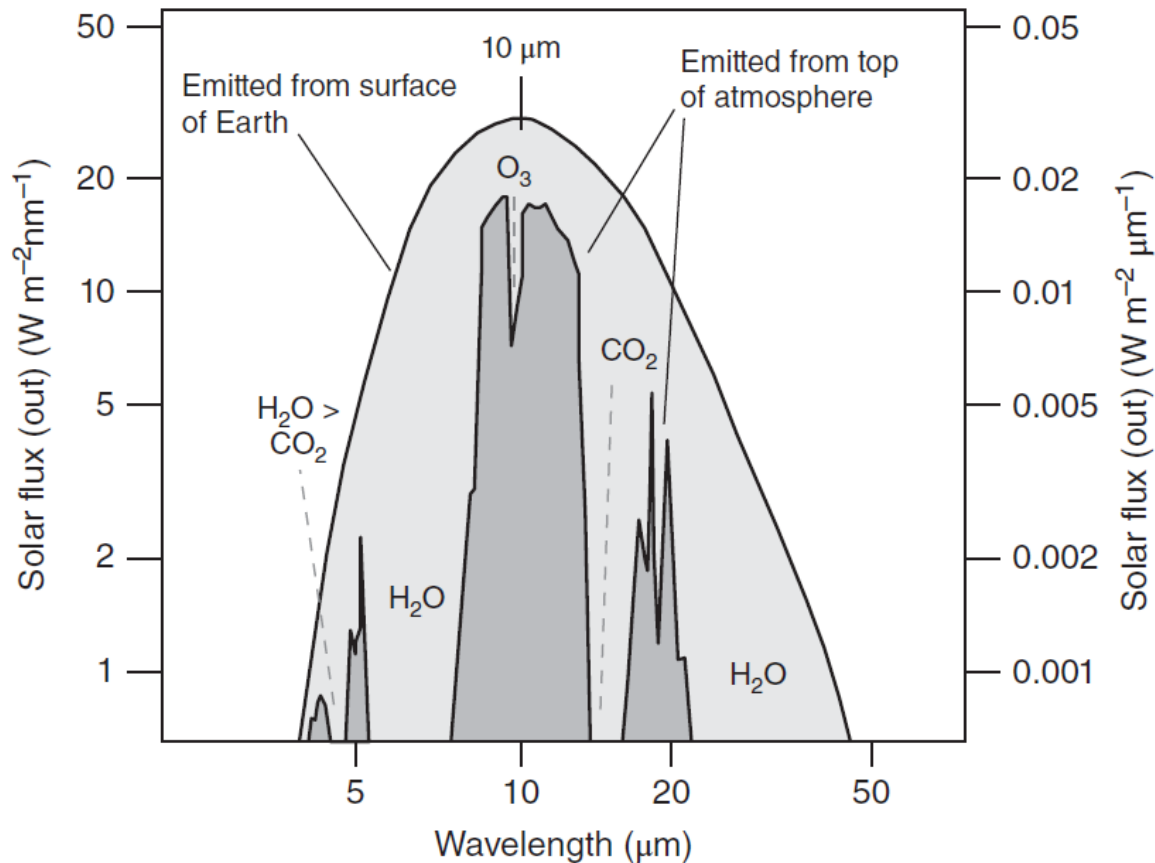
$b = 2.897721 \times 10^{-3} \text{ K m}$
 $T = \text{temperatura in K}$

terrestre

l'emissione radiativa terrestre corrisponde a quella di un corpo nero a circa 15 °C (288 K).

Il contributo dell'atmosfera

H₂O e CO₂ giocano un ruolo principale come gas serra in grado di assorbire la radiazione IR emessa dalla superficie terrestre.



Temperatura superficiale terrestre

La T superficiale della Terra può essere stimata a partire dalla quantità di radiazione solare in ingresso (i.e. quantità di energia che la Terra riceve dal Sole) e di radiazione in uscita (i.e. energia emessa dalla Terra come radiazione IR re-irradiata).

La base di questo calcolo è la legge di Stefan-Boltzmann:

$$E = k * T^4$$

K = costante di Stefan-Boltzmann
T = temperatura in K

In assenza di gas serra, il bilancio tra energia solare in ingresso e radiazione in uscita è descritto dalla seguente equazione:

$$(E_S/4) * (1 - \alpha) = \sigma * T_E^4$$

costante solare (1360-1370 Wm⁻²) Albedo (0.3) Costante di Stefan-Boltzmann (5.67×10⁻⁸ W m⁻²K⁻⁴) T (in K) della superficie terrestre

da cui si ricava una temperatura della superficie terrestre di -18 °C!!

- Effetto serra esercitato da molecole di gas atmosferici (H₂O, CO₂, CH₄, O₃, CFC ...)

Effetto serra

L'effetto serra può essere incorporato nella legge di Stefan-Boltzmann come **trasmissione IR effettiva** (g_h), un termine che esprime il calore intrappolato tramite l'effetto serra:

$$(E_S/4) * (1.0 - \alpha) = g_h * \sigma * T_E^4$$

Per una concentrazione di CO₂ atmosferica di 280 ppm (livelli pre-industriali), $g_h = 0.61$: il 61% della radiazione IR re-irradiata sfugge dall'atmosfera, il rimanente 0.39% interagisce con CO₂, H₂O e altri gas serra ed è riflessa indietro verso la superficie terrestre, e la temperatura superficiale terrestre risultante dalla legge di Stefan-Boltzmann è ~15 °C.

Effetto serra

L'effetto serra può essere incorporato nella legge di Stefan-Boltzmann come **trasmissione IR effettiva** (g_h), un termine che esprime il calore intrappolato tramite l'effetto serra:

$$(E_S/4) * (1.0 - \alpha) = g_h * \sigma * T_E^4$$

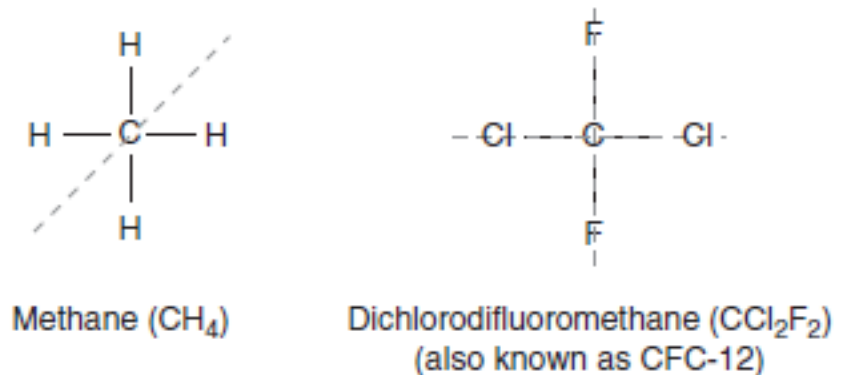
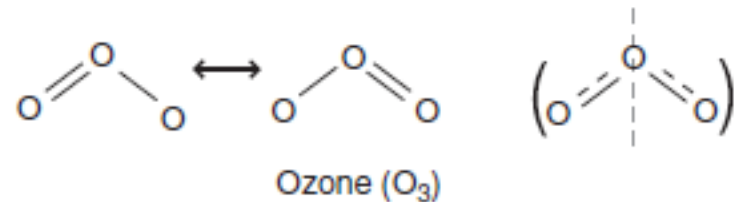
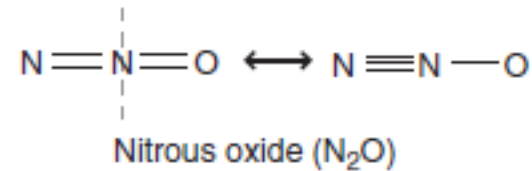
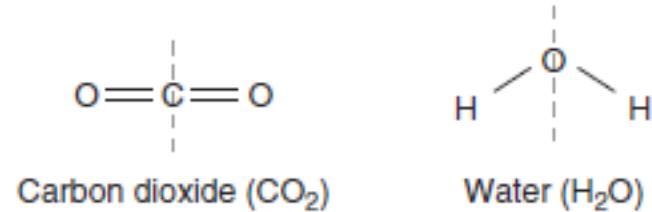
Per una concentrazione di CO₂ atmosferica di 280 ppm (livelli pre-industriali), $g_h = 0.61$: il 61% della radiazione IR re-irradiata sfugge dall'atmosfera, il rimanente 0.39% interagisce con CO₂, H₂O e altri gas serra ed è riflessa indietro verso la superficie terrestre, e la temperatura superficiale terrestre risultante dalla legge di Stefan-Boltzmann è ~15 °C.

Per una concentrazione di CO₂ atmosferica di 550 ppm, $g_h = 0.60$ (solo il 60 % della radiazione IR emessa esce dall'atmosfera) e la stima della temperatura superficiale terrestre media diventa di ~16 °C.

Diminuendo l'albedo del 7 % (0.28, es. per scioglimento delle calotte glaciali e altri cambiamenti), la T globale media aumenterebbe di ~4 °C.

Gas serra

I gas serra si caratterizzano per la presenza di centri di simmetria all'interno delle proprie strutture molecolari intorno ai quali le molecole possono stirarsi o piegarsi in seguito all'assorbimento di radiazioni IR.



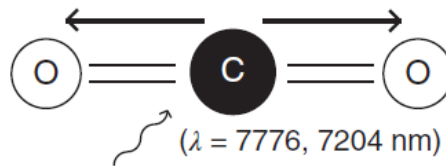
Gas serra

Modalità di vibrazione delle molecole di CO_2 in presenza di radiazione IR a varie lunghezze d'onda.

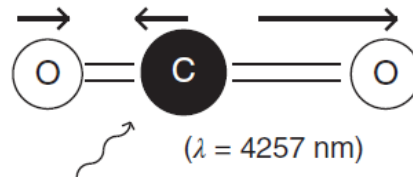
Relaxed state



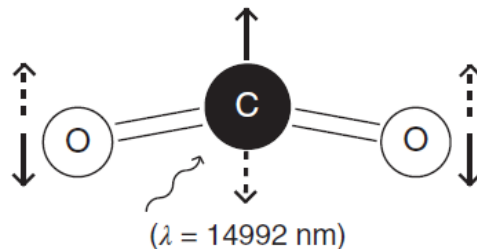
Symmetrical stretch (ν_s)



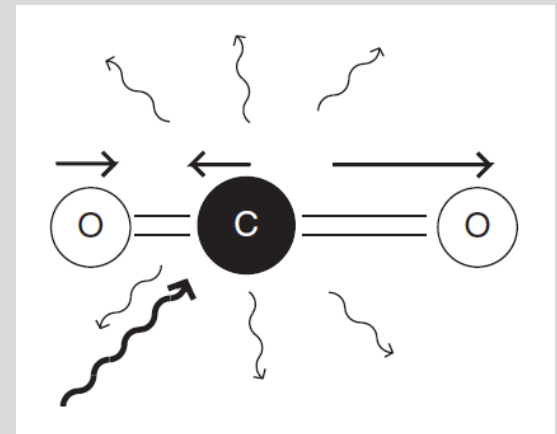
Asymmetrical stretch (ν_{as})



Bend (δ)

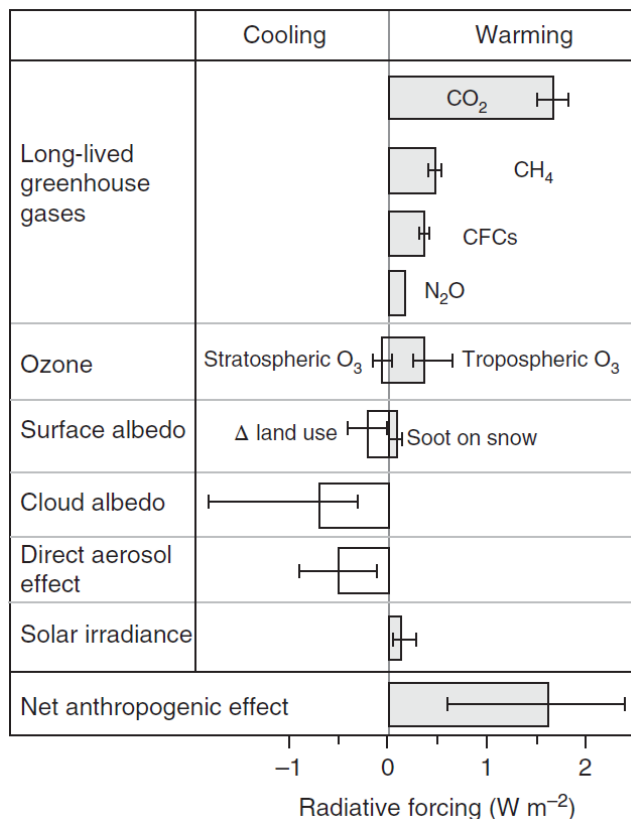


Le vibrazioni prodotte fanno sì che l'energia IR venga re-irradiata in tutte le direzioni. Parte di essa verrà quindi nuovamente indirizzata verso la superficie terrestre.



Forcing radiativo e GWP

- **FORCING RADIATIVO** = descrive l'influenza dei GHG sulla radiazione IR netta media in uscita dall'atmosfera.
- **GLOBAL WARMING POTENTIAL (GWP)** = definisce il contributo di ogni gas all'effetto serra.



- struttura molecolare
- tempo di residenza in atmosfera
- spettro di assorbimento di IR

Cambiamenti nei forcing radiativi dal 1750 al 2005 di vari parametri climalteranti.

L'effetto netto del cambiamento della composizione atmosferica è un aumento del forcing radiativo di 1.55 W/m².

Relative Forcing of Increased Global Temperature

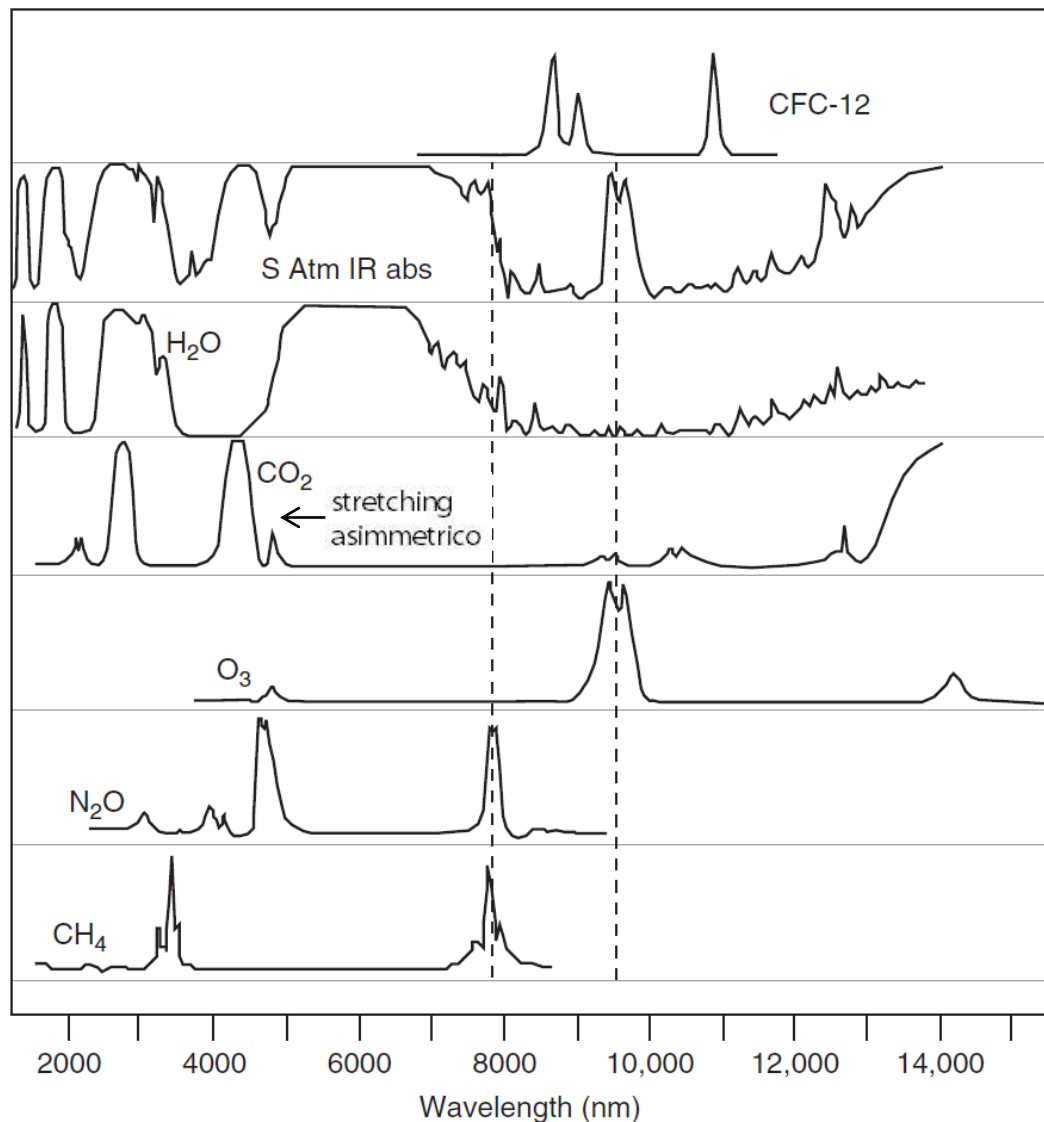
Gas	Percent of relative radiative forcing
Carbon dioxide, (CO ₂)	64
Methane (CH ₄)	19
Halocarbons (mostly CFCs)	11
Nitrous oxide (N ₂ O)	6

Forcing radiativo e GWP

	CO ₂ ppmv	CH ₄ ppmv	N ₂ O ppbv	O ₃ pptv	CFC-12 pptv
Atmospheric concentration					
Pre-1750	280	0.8	288	25	0
1990	355	1.7	310		484
Current (2011)	395	1.8	322	34	535
	Years	Years	Years	Years	Years
Atmospheric lifetime	100 ± 50*	12	114	<1	100
	100-yr	100-yr	100-yr	100-yr	100-yr
Global warming potential (GWP) (per-molecule basis)	1	25	298	na*	10,900
	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$	$W m^{-2}$
Increased radiative forcing* (Integrated for whole atmosphere)	1.66	0.48	0.16	0.35	0.17

* The residence time of CO₂ in the atmosphere is difficult to precisely quantify due to the myriad removal mechanisms. A 100-year time horizon cannot be applied to ozone (O₃) given its short residence time. Increased radiative forcing is expressed as the change since 1750.

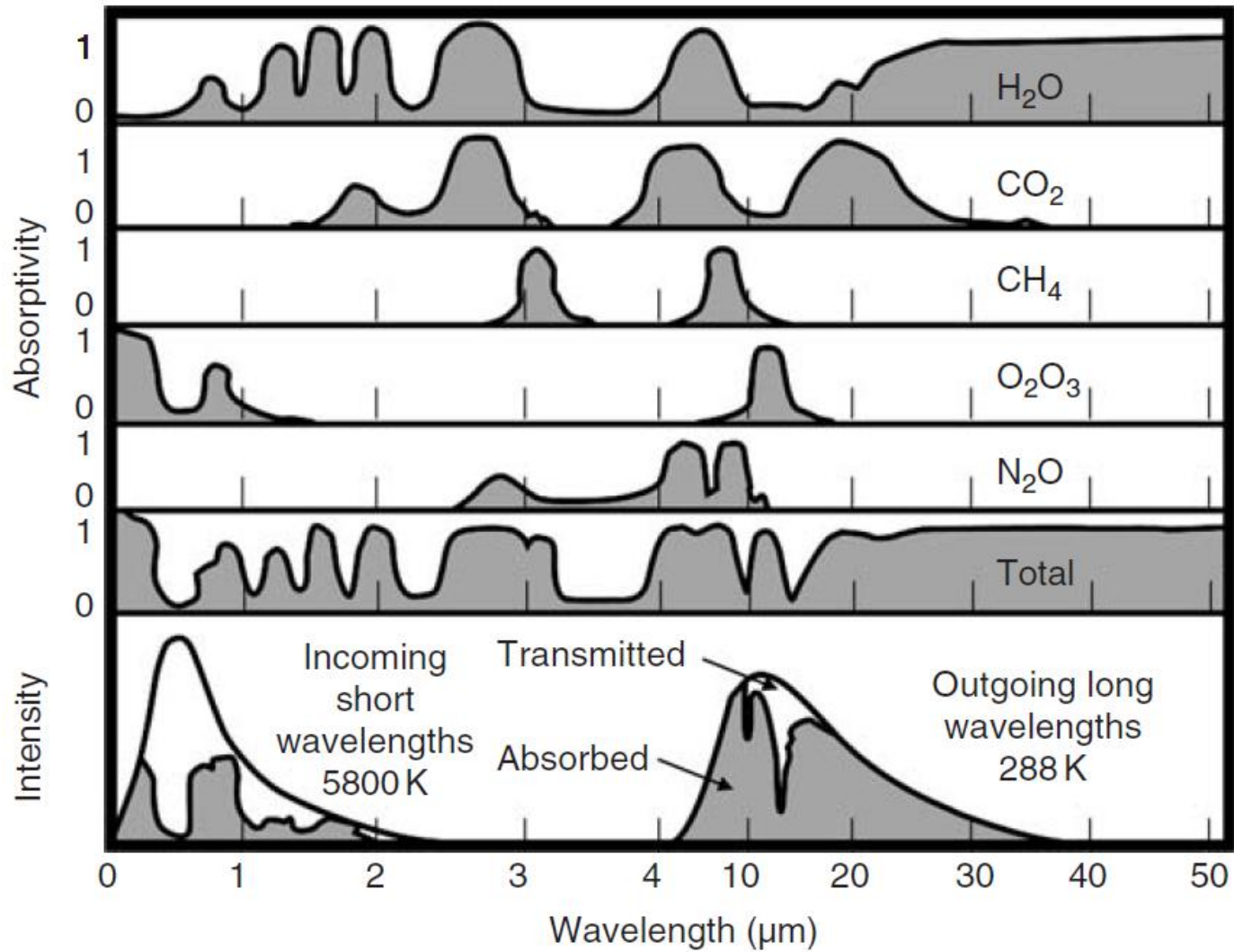
Forcing radiativo e GWP



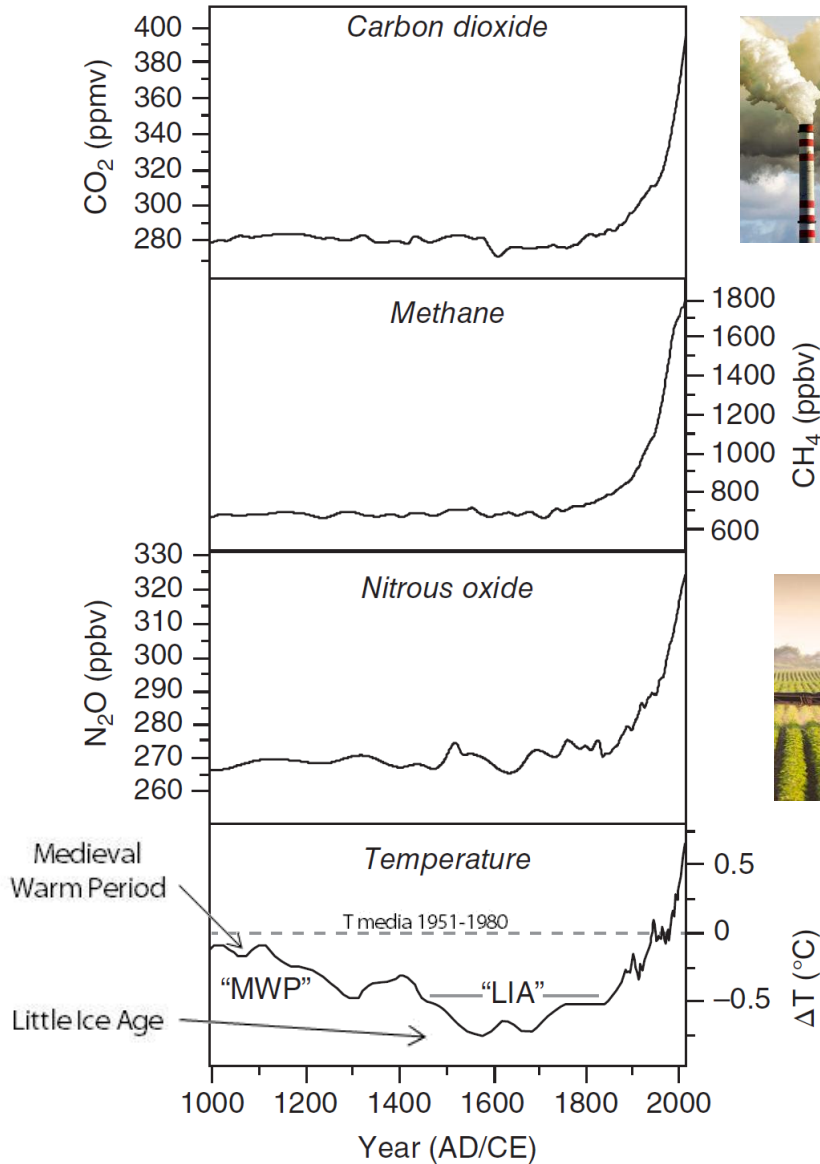
1. In alcune regioni dello spettro, la radiazione IR è interamente assorbita: eventuali aggiunte di H₂O o CO₂ non hanno impatto sull'intrappolamento di calore (almeno non in questi range di IR)
2. Gas in tracce come N₂O, CH₄ e soprattutto CFC-12 assorbono IR in regioni in cui né H₂O né CO₂ assorbono.

Spettri IR di alcuni gas serra.
S Atm IR abs: spettro prodotto sommando gli spettri di tutti i gas di origine naturale.

Forcing radiativo e GWP



Emissioni antropogeniche



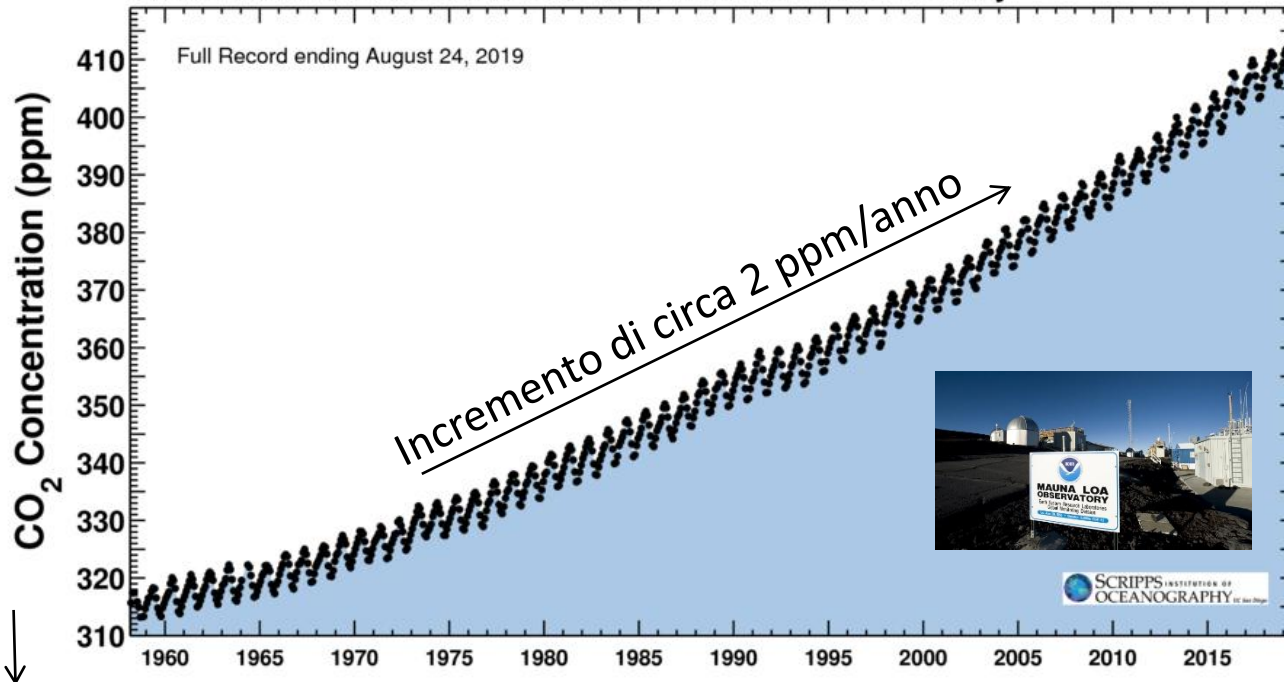
Anidride carbonica (CO₂)



Charles David Keeling

Latest CO₂ reading
August 22, 2019

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



280 ppm durante
l'Olocene

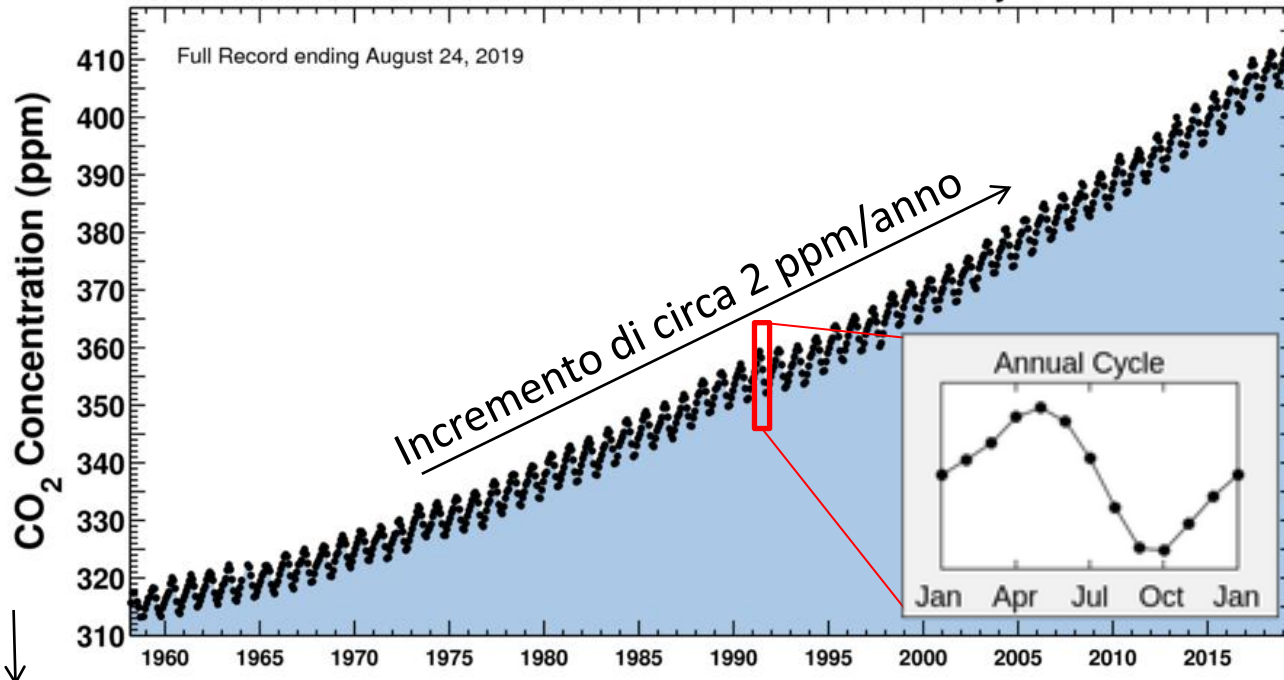
Anidride carbonica (CO₂)



Charles David Keeling

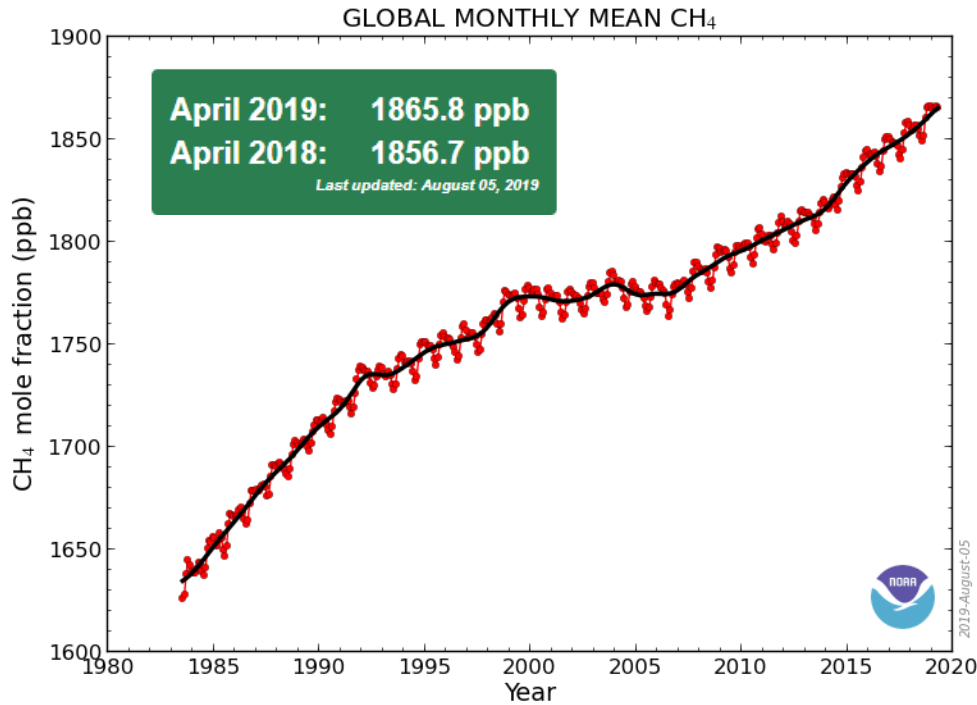
Latest CO₂ reading
August 22, 2019

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory

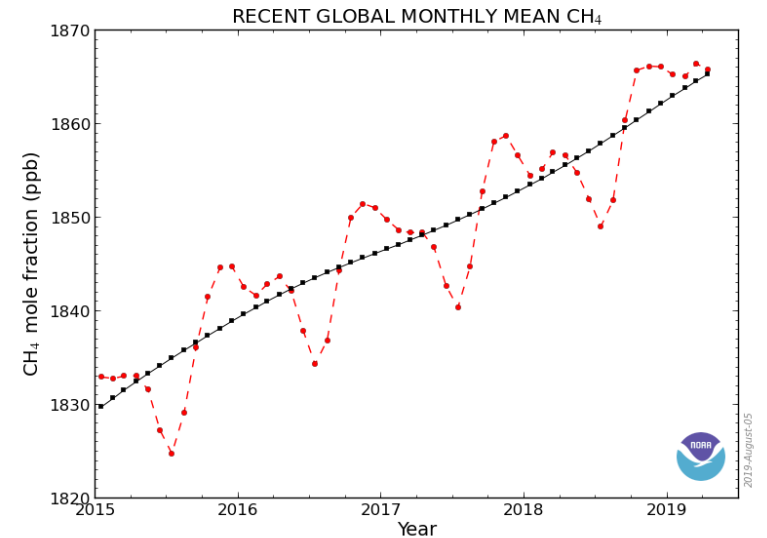
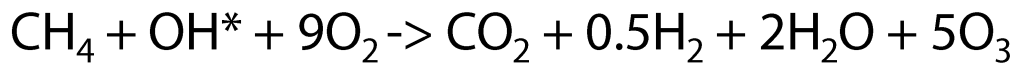
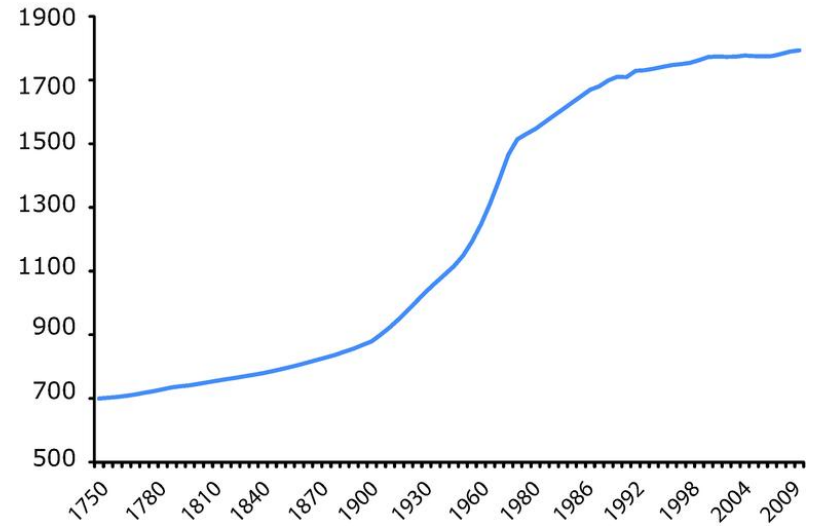


↓
280 ppm durante
l'Olocene

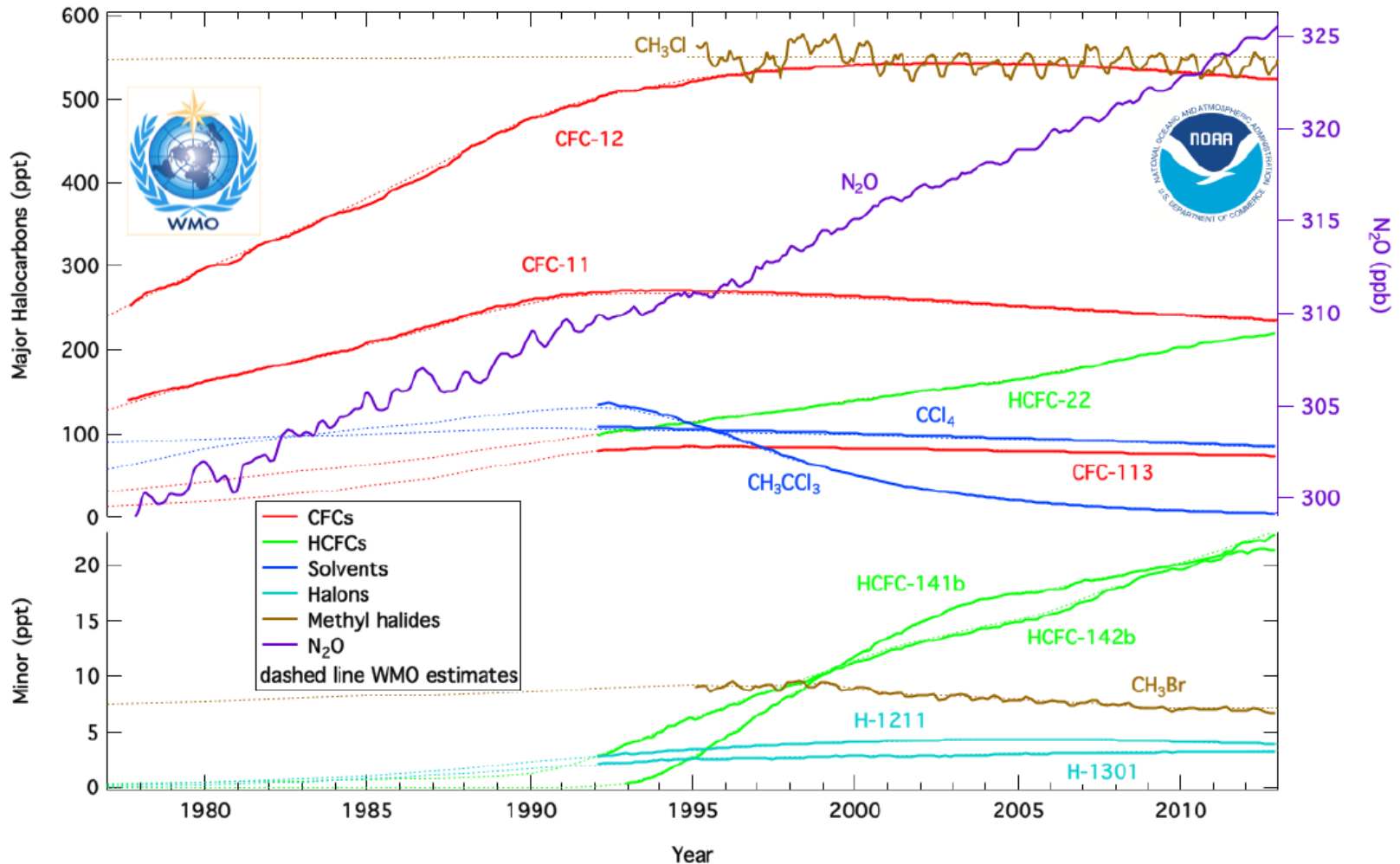
Metano (CH₄)



CH₄ concentration (ppb)



Clorofluorocarburi (CFC)



Accordo di Parigi

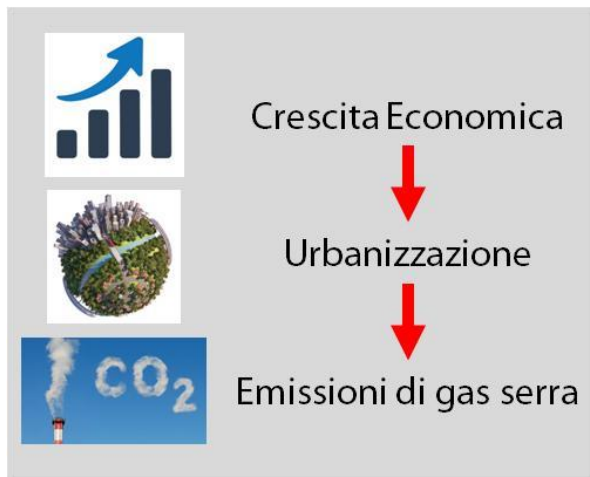
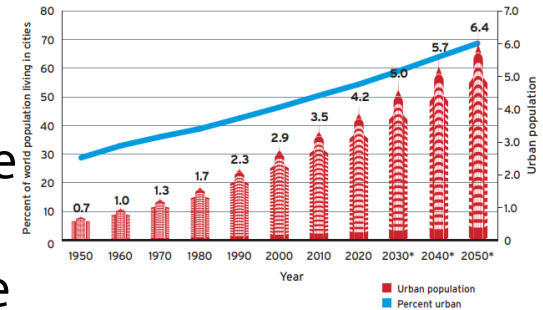
Art. 2.1: ... aims to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development ...



2050 80 % reduction below 1990 levels of global GHG emissions
 2060 zero net global carbon emissions from energy sector

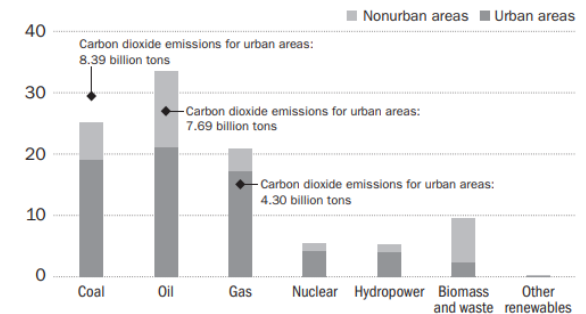


- ~2% della superficie terrestre
- >50% della popolazione mondiale
- 70-90% delle attività economiche



L'80% circa delle emissioni globali di gas serra è attribuibile ad attività urbane e suburbane.

Energy demand as % of total energy demand, and related carbon dioxide emissions 2005



Attività industriali e servizi (luce, riscaldamento, condizionamento, trasporti)

Città e Gas serra

TABLE 1 PRINCIPAL SOURCES OF ANTHROPOGENIC GREENHOUSE GASES AND THEIR RELATIVE FLUXES IN PERCENTAGE CO₂ EQUIVALENT, CIRCA 2000

SECTOR		END USE/ACTIVITY		GHG SPECIES	
ENERGY	Transportation	13.8%	Road	9.9%	CO ₂
			Air	1.6%	
			Rail, ship, and other	2.3%	
	Electricity and heat	24.6%	Residential buildings	9.9%	CO ₂
			Commercial buildings	5.4%	
			Unallocated fuel combustion	3.5%	
			Iron and steel	3.2%	
			Chemicals	4.8%	
			Cement	3.8%	
			Other industry	5.0%	
			Transmission & distribution losses	1.9%	
	Other fuel combustion	9.0%	Oil/gas extraction, refining, and processing	6.3%	CO ₂ , CH ₄
			Industry	10.4%	
	Fugitive emissions	3.9%			
	Industrial processes	3.4%			
	Land-use change	18.2%	Deforestation	18.3%	CO ₂
			Harvest/management	2.5%	
			Afforestation/ reforestation and other	-2.6%	
	Agriculture	13.5%	Agricultural soils	6.0%	N ₂ O
Livestock & manure			5.1%	CH ₄	
Rice cultivation			1.5%	CH ₄	
Waste	3.6%	Landfills	2.0%	CH ₄	
		Wastewater, other waste	1.6%	N ₂ O, CH ₄	

Data from World Resources Institute (www.wri.org). For clarity, only contributions greater than 1.5% are reported for the END USE/ACTIVITY, and therefore percentages do not necessarily sum up to the SECTOR percentages. Sector percentages are often a combination of two or more end uses/activities. Roughly 80% of global GHG emissions are from urban/suburban sources.

	CO ₂ ppmv	CH ₄ ppmv	N ₂ O ppbv	O ₃ pptv	CFC-12 pptv
Global warming potential (GWP) (per-molecule basis)	1	25	298	na [*]	10,900

$$\text{CO}_2\text{eq} = \text{GHG (massa)} \times \text{GWP}$$



CO₂e, CO₂equivalente

Le aree urbane e suburbane contribuiscono a circa:

- 80% delle emissioni globali di GHG
- 70% delle emissioni globali di GHG legate al settore energetico

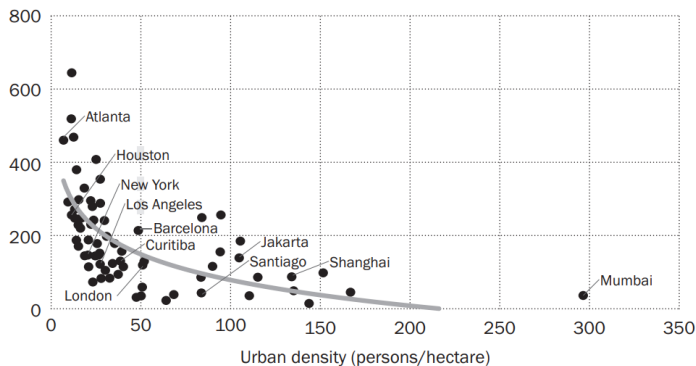
In base alle osservazioni di Hoornweg et al. (2011) su circa 100 città, le emissioni di GHG pro-capite annuali variano da <0.5 t CO₂eq (es. varie città in Nepal, India, Bangladesh) a >15 t CO₂eq (es. Sydney, Calgary, Stuttgart, e diverse città principali degli USA).

Città e Gas serra

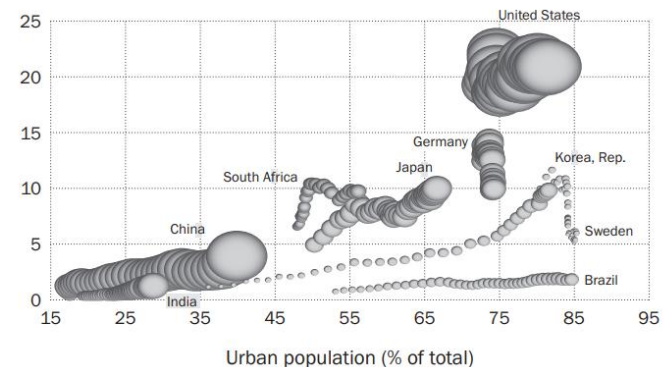
L'impatto di una città in termini di contributo alle emissioni di gas serra dipende da:

- fonti di energia utilizzate (combustibili fossili vs. rinnovabili)
- sviluppo economico (es. attività produttive e servizi)
- densità abitativa (es. efficienza dei trasporti pubblici)
- pratiche edilizie (es. efficienza energetica degli edifici)
- struttura e mobilità urbana (es. piste ciclabili)

Transport-related Emissions, 1995 (per capita/Kg)



Carbon dioxide emissions per capita, 1967-2005 (metric tons per person)



- Sviluppo sostenibile
- Mitigazione del cambiamento climatico
- Resilienza urbana

Strategie di
pianificazione urbana

Città e Gas serra

T
R
A
S
P
O
R
T
I



CONSUMO ENERGETICO



Infrastrutture verdi = reti di aree naturali e seminaturali pianificate a livello strategico con altri elementi ambientali, progettate e gestite in maniera da fornire un ampio spettro di servizi ecosistemici (ambientali e sociali).



Città e Gas serra

	Carbon dioxide (CO ₂)	Methane (CH ₄)	Nitrous oxide (N ₂ O)	Halogenated gases
Pre-industrial tropospheric background concentrations	~280 ppm	~700 ppb	~270 ppb	0 ppt (nonexistent)
Tropospheric background concentrations in 2016	400 ppm	1,834 ppb	328 ppb	232 ppt (CFC-11) 516 ppt (CFC-12) 8.6 ppt (SF ₆)
Typical observed mixing ratios in the urban boundary layer	~400–450 ppm	~1,950–2,100 ppb	~320–400 ppb	-
Atmospheric residence time	100–300 y	12 y	121 y	45 y (CFC-11) 100 y (CFC-12) 3,200 y (SF ₆)
100-year Global warming potential per mass relative to mass of CO ₂	1	28	265	4,660 (CFC-11) 10,900 (CFC-12) 23,500 (SF ₆)
Anthropogenic radiative forcing (RF) on global troposphere in 2016	1.94 W m ⁻²	0.50 W m ⁻²	0.20 W m ⁻²	0.34 W m ⁻²

Città e Gas serra

Per adottare efficaci politiche di riduzione delle emissioni di gas serra è necessario riconoscere e quantificare i contributi da sorgenti e sink a scala urbana.

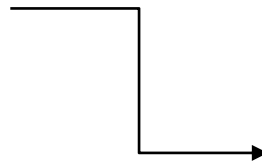
Approccio bottom-up: si quantificano le emissioni di gas serra dalle sorgenti per determinarne l'impatto sull'atmosfera

Approccio top-down: si esaminano le concentrazioni di gas serra in atmosfera per determinare i flussi dalle sorgenti

Approccio top-down

- Determinazione di flussi di gas serra dall'area di studio
- Misure in continuo di concentrazioni e composizione isotopica di gas serra

isotopica di gas serra



- Stazioni fisse
- Stazioni mobili

} strada
tetti
torri, droni, ecc

Cicli giornalieri, settimanali, stagionali

Fattori climatici, meteorologici, ambientali, sociali, culturali

Sorgenti di emissione e relativi contributi



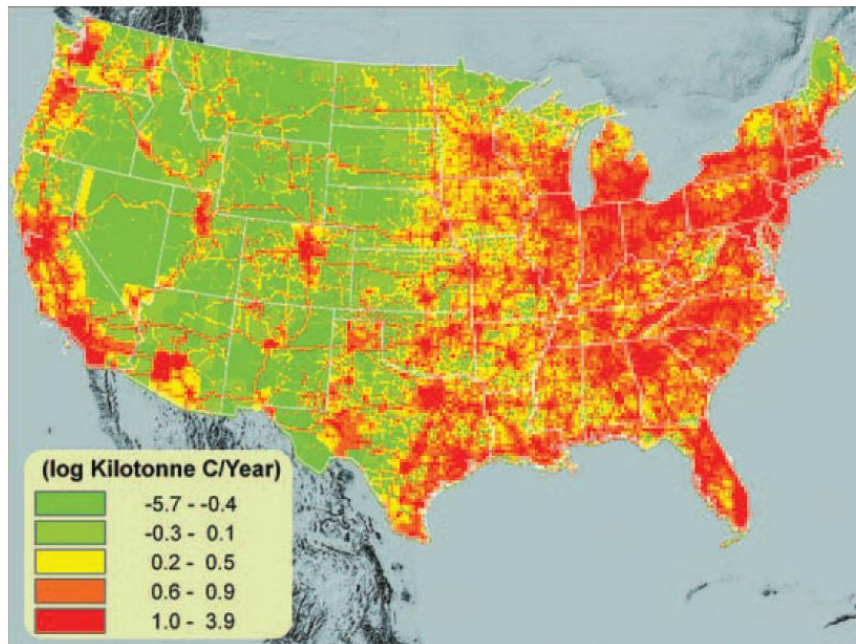
Politiche di sostenibilità urbana

Anidride carbonica (CO₂)

La CO₂ è il più abbondante gas serra antropogenico.

La sua concentrazione in atmosfera è aumentata da 280 ppm in epoca pre-industriale a 410 ppm attuali. Il tasso di crescita attuale è di circa 2 ppm/anno.

La maggior parte delle emissioni antropogeniche di CO₂ sono legate alla combustione di combustibili fossili per la produzione di elettricità, trasporti e processi industriali.



Emissioni antropogeniche di CO₂ da combustione di combustibili fossili negli Stati Uniti durante il 2002.

Flussi di CO₂

Flussi di CO₂ da aree urbane:



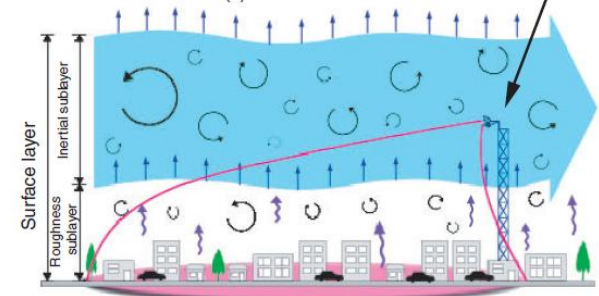
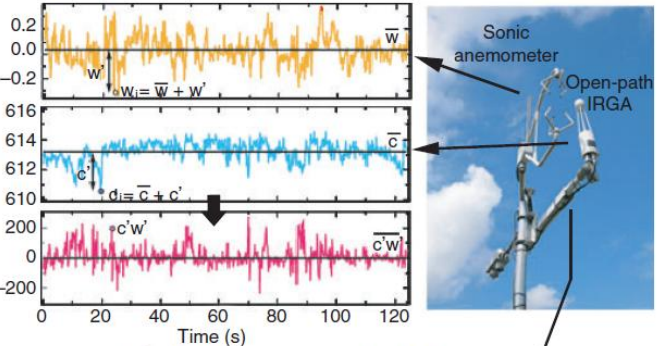
Città del Messico
410 $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$



Indianapolis
840 $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$

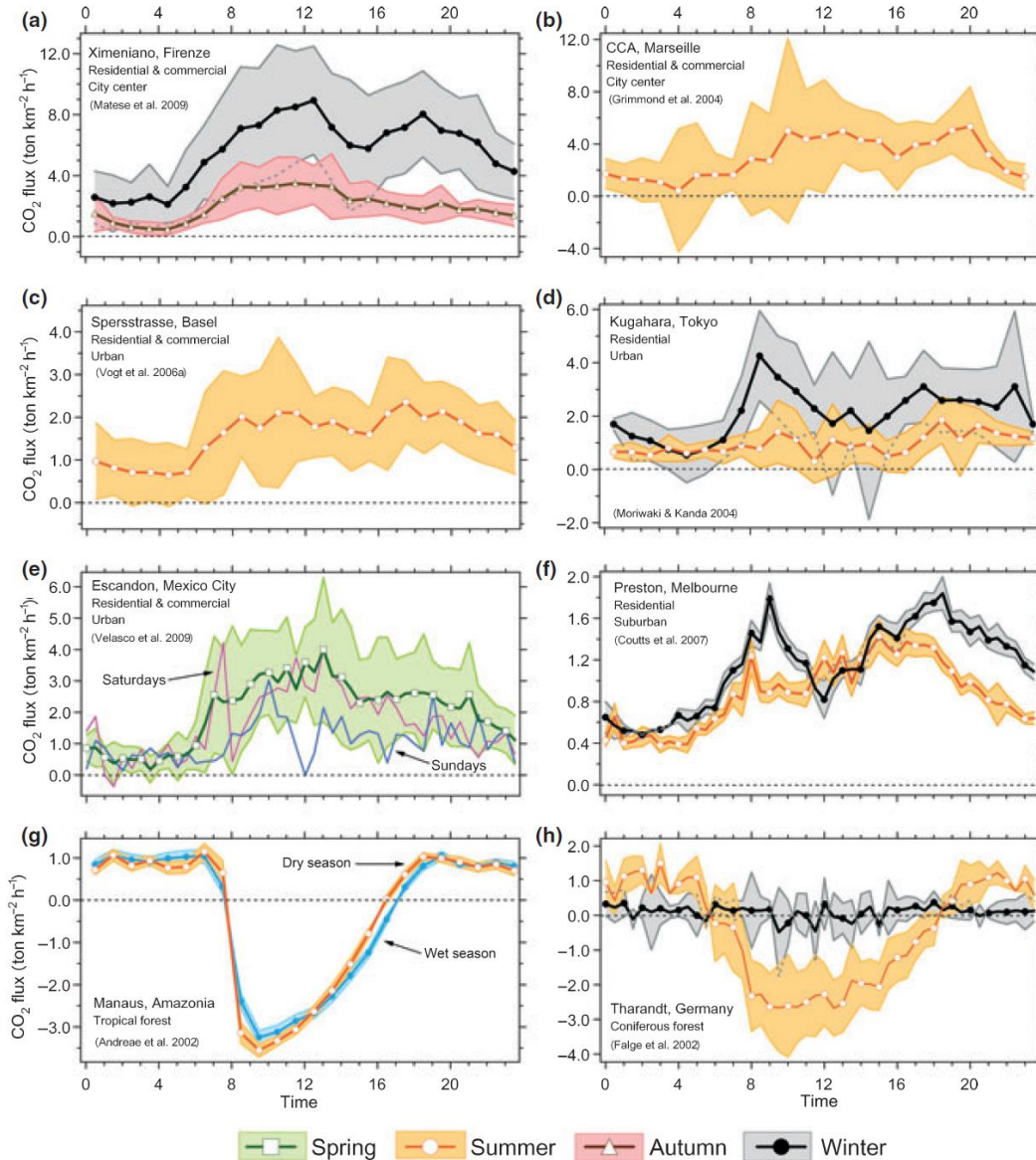


Chicago
Estate: 440 (notte) - 1670 (giorno) $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$

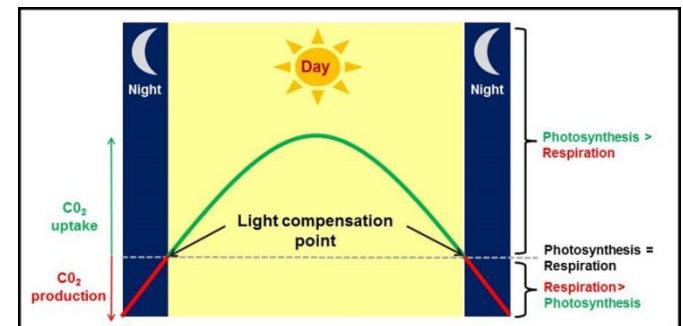


Edimburgo
Autunno: 750 (notte) - 1670 (giorno) $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$

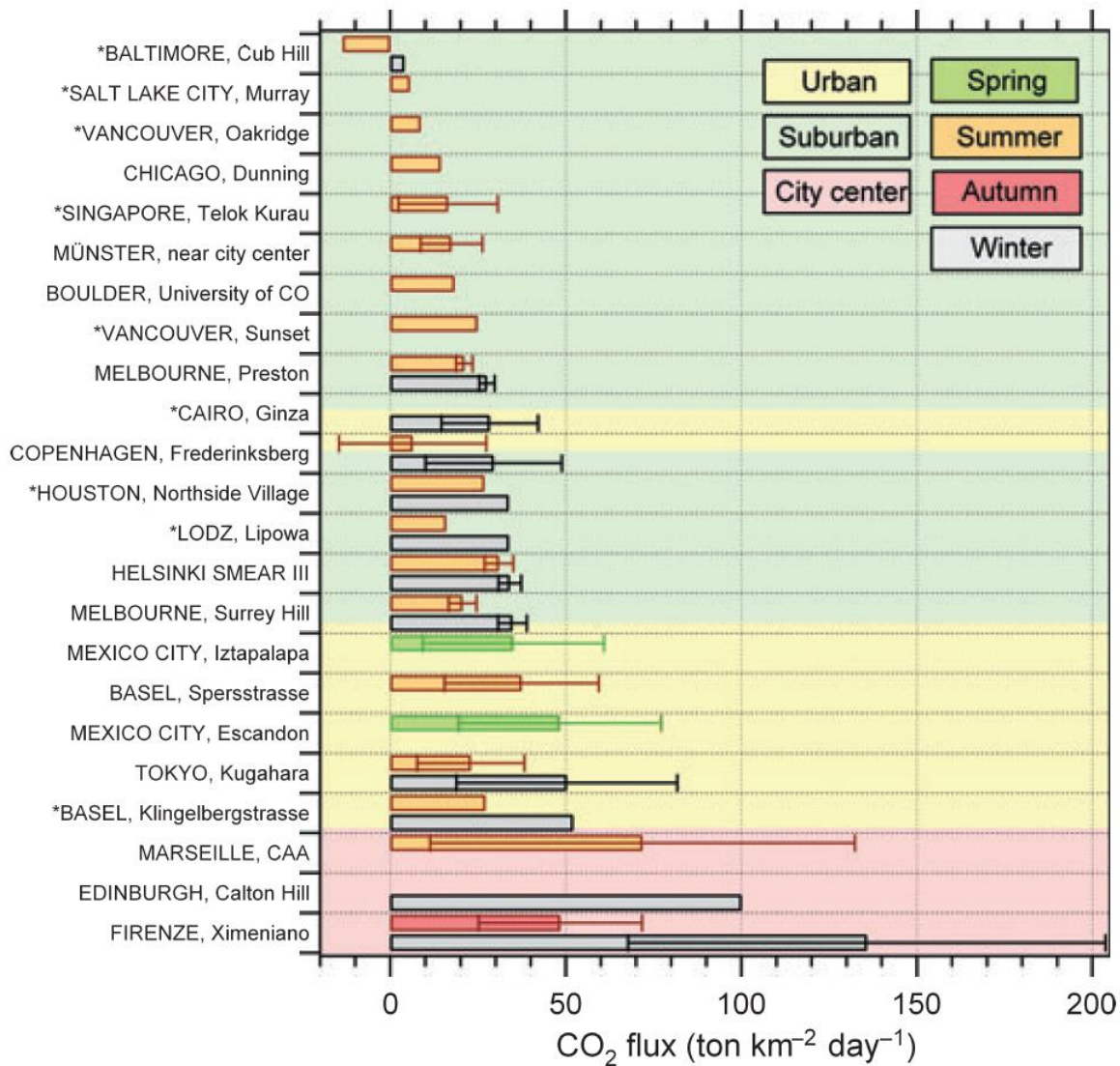
Flussi di CO₂



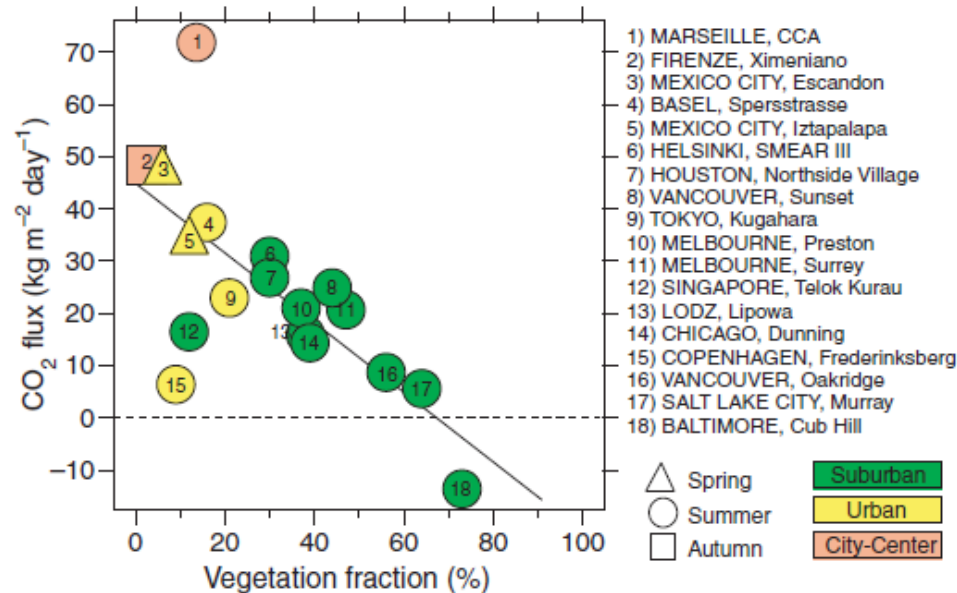
Flussi di CO₂ misurati in varie città del mondo risultano positivi (diretti dalla superficie terrestre verso l'atmosfera) durante la maggior parte delle ore diurne: le città sono sorgenti di CO₂.



Flussi di CO₂



Flussi di CO₂



Area urbana:

- maggiori flussi di CO₂
- minori emissioni di CO₂ pro-capite

Area suburbana:

- minori flussi di CO₂
- maggiori emissioni di CO₂ pro-capite

Isotopi come traccianti

Misure in continuo di concentrazione e composizione isotopica di gas serra, come la CO₂, sono di primaria importanza in approcci top-down per l'individuazione delle sorgenti di emissione attive e dei contributi relativi delle varie sorgenti ai livelli di gas serra presenti nelle aree urbane.

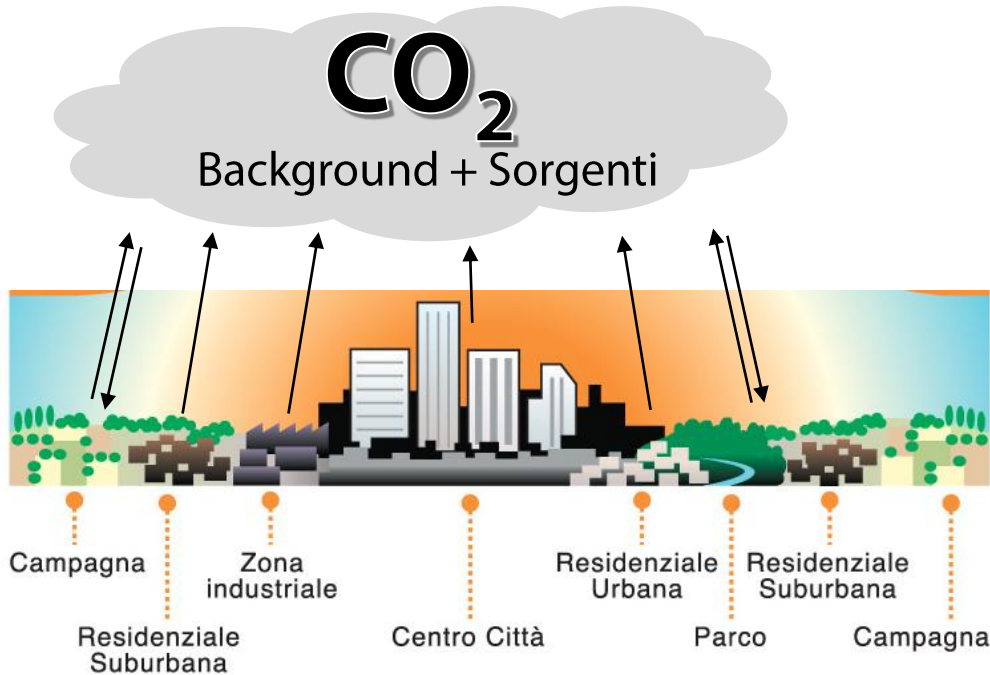


Gli isotopi stabili possono essere utilizzati come traccianti geochimici:

Sorgente	$\delta^{13}\text{C-CO}_2$ (‰ vs. V-PDB)
Traffico veicolare	ca. -27
Combustione di gas naturale	ca. -40
Combustione di carbone	ca. -23
Respirazione biogenica	-26.5 – -20

Background atmosferico -8.6 ‰ vs. V-PDB

Isotopi come traccianti



La concentrazione e composizione isotopica della CO₂ misurata in aria sarà il risultato del mixing tra CO₂ atmosferica (background naturale) e CO₂ da sorgenti locali (antropiche o naturali).

$$CO_{2_misurata} = CO_{2_background} + CO_{2_emessa}$$

Frazione di CO₂ atmosferica di background

Frazione di CO₂ atmosferica derivante da sorgenti locali

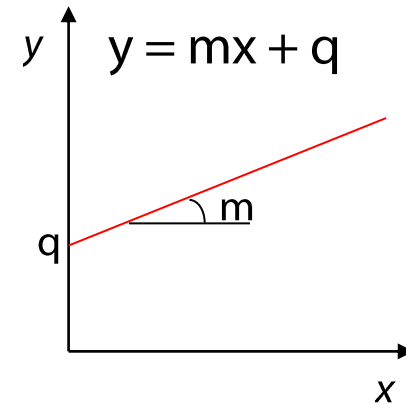
$$\delta^{13}CO_{2_misurata} \times CO_{2_misurata} = \delta^{13}CO_{2_background} \times CO_{2_background} + \delta^{13}CO_{2_emessa} \times CO_{2_emessa}$$

Isotopi come traccianti

La composizione isotopica della CO₂ emessa dalle sorgenti locali può essere calcolata a partire dalla concentrazione e composizione isotopica della CO₂ atmosferica attraverso due approcci:

1. Metodo del Keeling plot (Keeling, 1958, 1961)
2. Metodo di Miller-Tans (Miller and Tans, 2003)

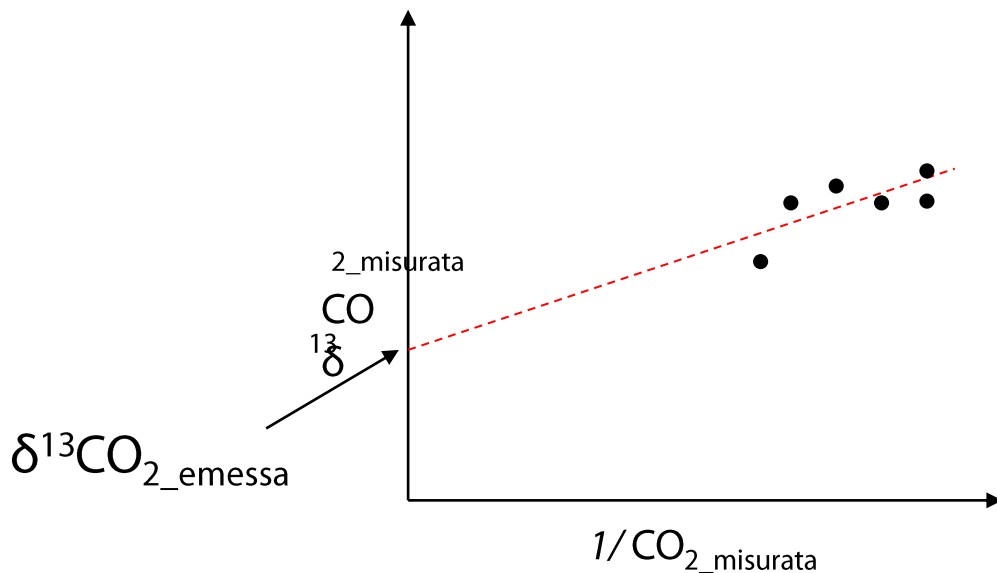
Si tratta di due metodi grafici in cui la composizione isotopica della CO₂ emessa da sorgenti locali viene ottenuta come intercetta o pendenza di una retta all'interno di uno specifico grafico.



Keeling plot

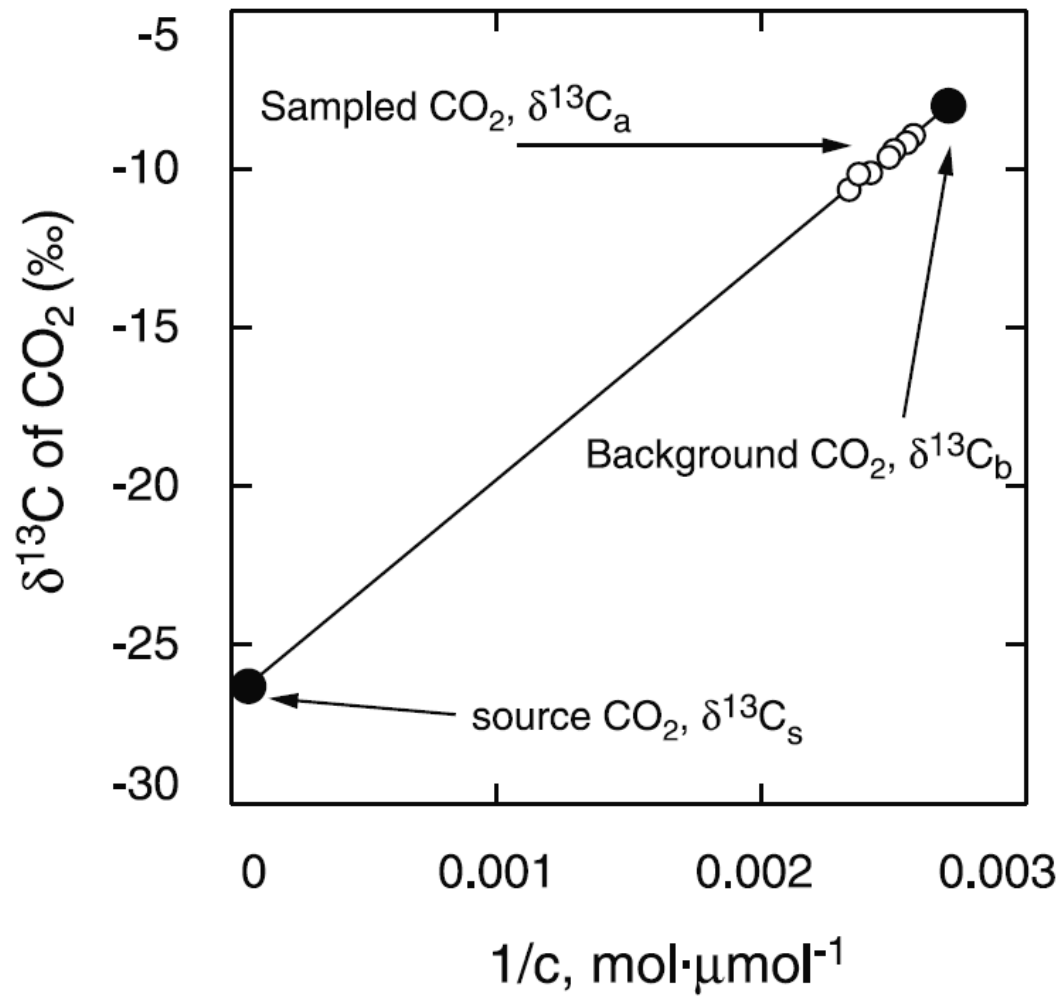
Nel caso del Keeling plot i bilanci di massa precedentemente descritti vengono riformulati nel modo seguente:

$$\delta^{13}CO_{2_misurata} = \frac{(\delta^{13}CO_{2_background} - \delta^{13}CO_{2_emessa}) \times CO_{2_background}}{CO_{2_misurata}} + \delta^{13}CO_{2_emessa}$$



I valori di background possono rimanere ignoti, ma composizione e contributi di background e sorgenti devono essere costanti durante l'intervallo di acquisizione dei dati.

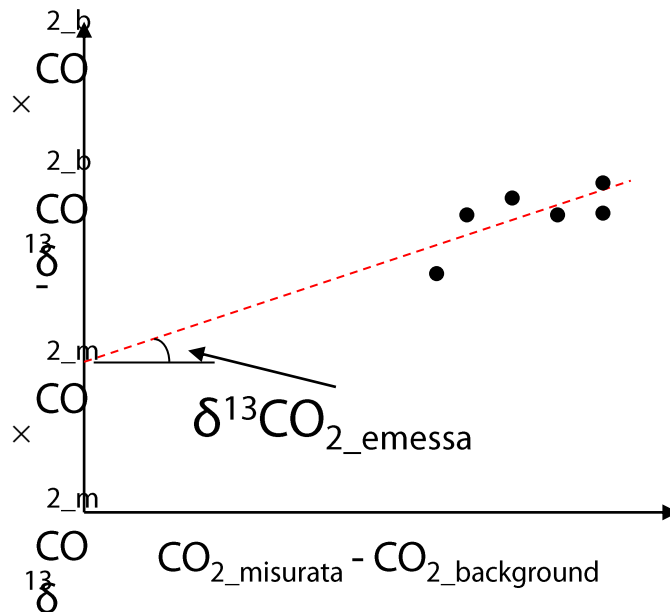
Keeling plot



Miller-Tans

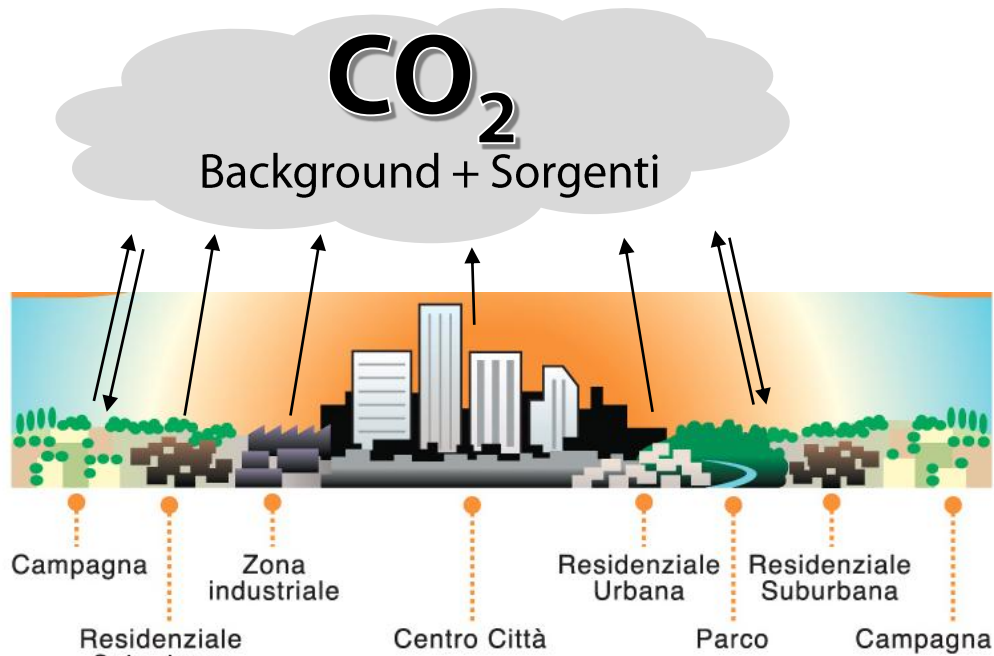
Nel caso dell'approccio Miller-Tans i bilanci di massa precedentemente descritti vengono riformulati nel modo seguente:

$$\begin{aligned} \delta^{13}\text{CO}_{2_misurata} \times \text{CO}_{2_misurata} - \delta^{13}\text{CO}_{2_background} \times \text{CO}_{2_background} &= \\ &= \delta^{13}\text{CO}_{2_emessa} \times (\text{CO}_{2_misurata} - \text{CO}_{2_background}) \end{aligned}$$



I valori di background devono essere noti. Permette di considerare possibili variazioni nei valori di background durante l'intervallo di acquisizione dei dati.

Isotopi come traccianti



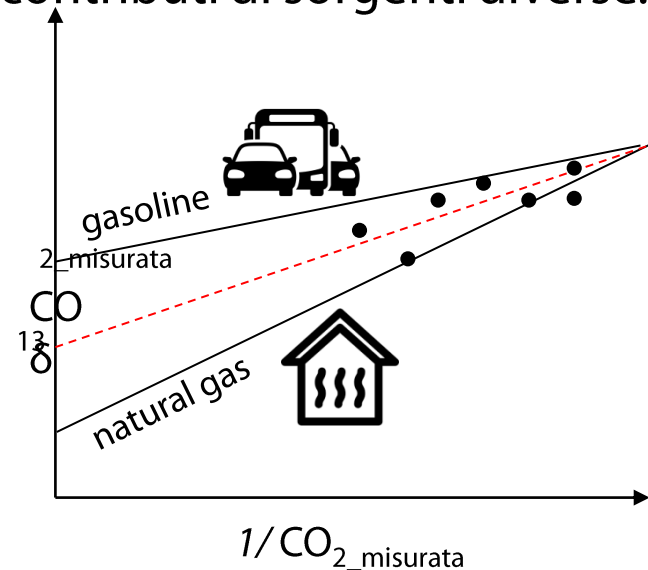
$$\begin{cases} CO_{2_emessa} = CO_{2_g} + CO_{2_n} \\ \delta^{13}CO_{2_emessa} \times CO_{2_emessa} = \delta^{13}CO_{2_g} \times CO_{2_g} + \delta^{13}CO_{2_n} \times CO_{2_n} \end{cases}$$

$$\frac{CO_{2_n}}{CO_{2_emessa}} (\%) = 100 \times \frac{\delta^{13}CO_{2_emessa} - \delta^{13}CO_{2_g}}{\delta^{13}CO_{2_n} - \delta^{13}CO_{2_g}}$$

$$\frac{CO_{2_g}}{CO_{2_emessa}} (\%) = 100 - \frac{CO_{2_n}}{CO_{2_emessa}}$$

In un'area urbana, generalmente, sono presenti più sorgenti di emissione di CO₂.

Il valore $\delta^{13}CO_{2_emessa}$ ricavato con i metodi del Keeling plot o di Miller-Tans sarà quindi il risultato di un mixing tra contributi di sorgenti diverse.



Metano (CH₄)

Il CH₄ è un potente gas serra con GWP di 25 ed una concentrazione attuale di circa 1.8 ppm.

Le sorgenti antropiche di CH₄ includono la produzione e il trasporto di combustibili fossili (gas naturale), agricoltura (ruminanti e letame, produzione di riso), combustione di biomassa ed emissioni legate ai rifiuti antropici (discariche, acque reflue).

Il sink principale di CH₄ consiste nella reazione con OH* troposferico, mentre sink secondari sono rappresentati dall'ossidazione di CH₄ da parte di organismi metanotrofi in suoli aerobici e da reazioni nella stratosfera.

Sorgente	$\delta^{13}\text{C-CH}_4$ (‰ vs. V-PDB)
Traffico	-32 – -26
Gas naturale	ca. -44
Discariche	-58 – -50
Agricoltura e allevamenti	-66 – -55
Wetlands	ca. -60
Trattamento di acque reflue	ca. -53

Background atmosferico ca. -47 ‰ vs. V-PDB

GAS SERRA A FIRENZE



Science of The Total Environment

Volume 698, 1 January 2020, 134245



Seasonal and diurnal variations of greenhouse gases in Florence (Italy): Inferring sources and sinks from carbon isotopic ratios

S. Venturi ^{a, b} ✉, F. Tassi ^{a, b}, J. Cabassi ^{a, b}, B. Gioli ^c, S. Baronti ^c, O. Vaselli ^{a, b}, C. Caponi ^a, C. Vagnoli ^c, G. Picchi ^a, A. Zaldei ^c, F. Magi ^a, F. Miglietta ^c, F. Capecciacci ^d



Firenze



Le strategie di pianificazione urbana hanno profondamente cambiato l'area urbana fiorentina negli ultimi decenni, puntando a ridurre il carbon footprint urbano e a modificare le abitudini dei cittadini in termini di mobilità urbana.



- ~380,000 abitanti;
- è collocata nella 6° area metropolitana epiù popolosa d'Italia (circa 1,005,000 abitanti), ed è visitata da oltre 10 milioni di turisti all'anno;
- emissioni annuali di CO₂ e CH₄ in atmosfera dall'area urbana variano da 1.17×10^6 a 1.34×10^6 Mg e da 1.66×10^3 a 3.12×10^3 Mg, rispettivamente.

Obiettivo: diminuire le emissioni urbane di CO₂ del 50 % entro il 2030

	CH ₄	CO ₂
Non-industrial combustion plants	7.92	44.54
Combustion in manufacturing industry	0.19	7.01
Production processes	0.00	0.40
Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	81.04	0.00
Road Transport	10.58	45.53
Other mobile sources and machinery	0.05	2.52
Agriculture	0.21	0.00
Other sources	0.00	0.00

Metodi e obiettivi:

Monitoraggio continuo (7-21 Luglio 2017 e 10 Ottobre - 15 Dicembre 2017) di:

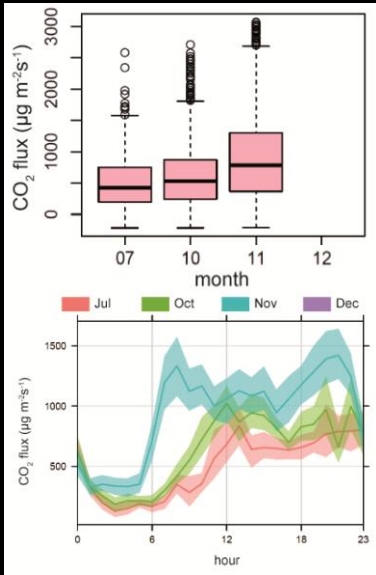
- flussi di CO_2 (eddy covariance);
- concentrazioni e rapporti isotopici del carbonio in CO_2 e CH_4 (Picarro G2201-i);
- parametri meteorologici



sito di monitoraggio sul tetto dell'Osservatorio Ximenesiano, nel centro storico, circa 33 m sopra il livello della strada

- Identificare le sorgenti di emissioni locali
- Stabilire le variazioni temporali nei contributi relativi dalle sorgenti locali

Urban CO₂ footprint

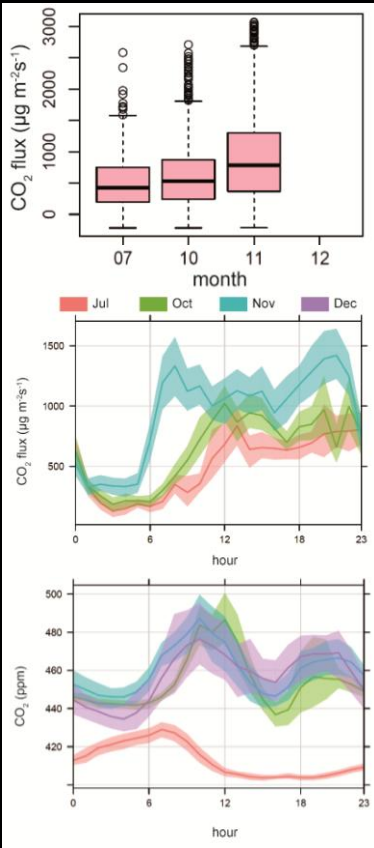


I flussi di CO₂ medi mensili dalla città misurati a Ottobre e Novembre sono del 26% e 82% più alti di quelli osservati a Luglio, rispettivamente.

Il ciclo diurno dei flussi di CO₂ indica che le emissioni di CO₂ sono strettamente connesse ad attività antropogeniche.

SORGENTE DI CO₂

Urban CO₂ footprint



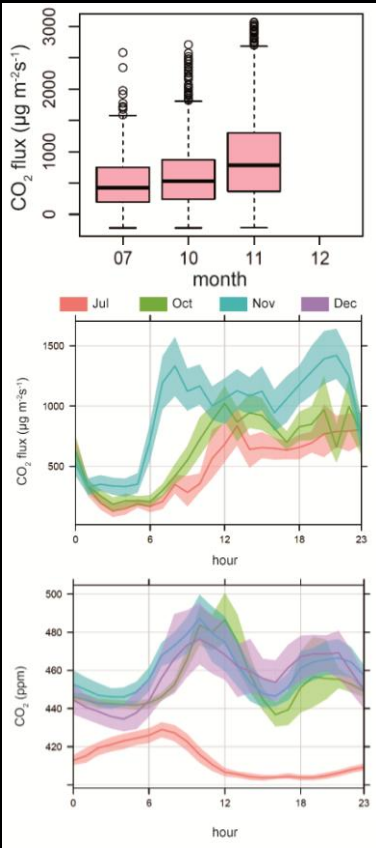
I flussi di CO₂ medi mensili dalla città misurati a Ottobre e Novembre sono del 26% e 82% più alti di quelli osservati a Luglio, rispettivamente.

Il ciclo diurno dei flussi di CO₂ indica che le emissioni di CO₂ sono strettamente connesse ad attività antropogeniche.

SORGENTE DI CO₂

Il ciclo diurno delle concentrazioni di CO₂ riflette l'evoluzione del PBL in Luglio e delle emissioni diurne di CO₂ dalla città in autunno.

Urban CO₂ footprint



I flussi di CO₂ medi mensili dalla città misurati a Ottobre e Novembre sono del 26% e 82% più alti di quelli osservati a Luglio, rispettivamente.

Il ciclo diurno dei flussi di CO₂ indica che le emission di CO₂ sono strettamente connesse ad attività antropogeniche.

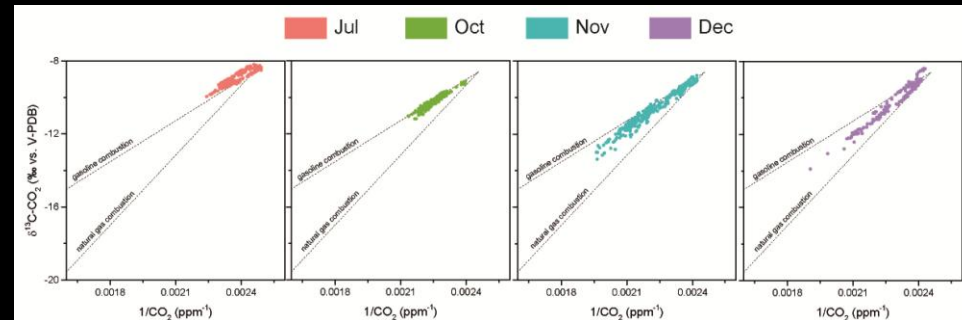
SORGENTE DI CO₂

Il ciclo diurno delle concentrazioni di CO₂ riflette l'evoluzione del PBL in Luglio e delle emissioni diurne di CO₂ dalla città in autunno.

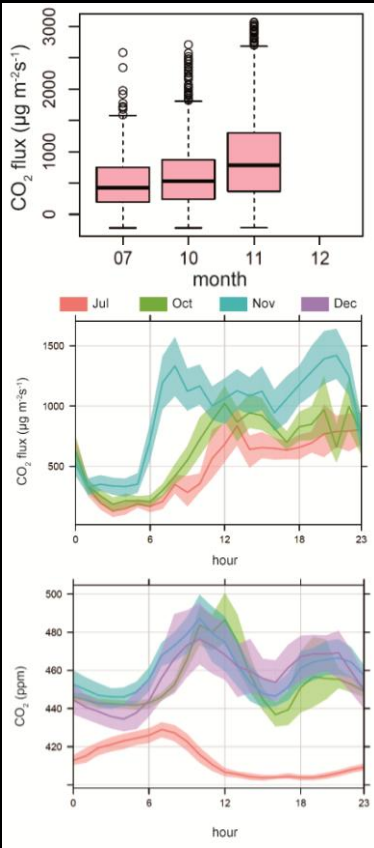
Il metodo del Keeling plot è stato adottato per identificare le sorgenti di emissione

Dati notturni (h 0-5)

- condizioni meteo stabili permettono alla CO₂ emessa localmente di accumularsi nell'atmosfera;
- l'effetto della fotosintesi può essere ignorato;
- le emissioni antropogeniche attive sono minime



Urban CO₂ footprint



Monthly average CO₂ fluxes from the city measured in October and November were 26 % and 82 % higher than those observed in July, respectively

The diurnal cycle of CO₂ fluxes indicates that the CO₂ emissions were strictly related to anthropogenic sources.

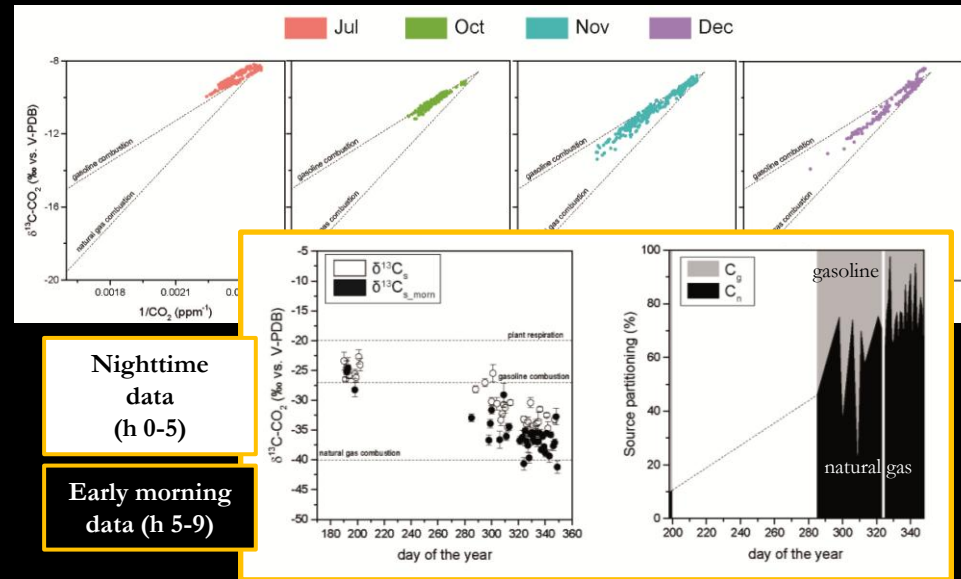
NET SOURCE OF CO₂

The diurnal cycle of the CO₂ concentrations reflected the evolution of the ABL in July and the diurnal CO₂ emissions from the city during fall.

Il metodo del Keeling plot è stato adottato per identificare le sorgenti di emissione

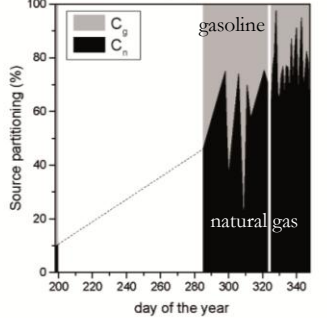
Dati notturni (h 0-5)

- condizioni meteo stabili permettono alla CO₂ emessa localmente di accumularsi nell'atmosfera;
- l'effetto della fotosintesi può essere ignorato;
- le emissioni antropogeniche attive sono minime



Nighttime data (h 0-5)

Early morning data (h 5-9)

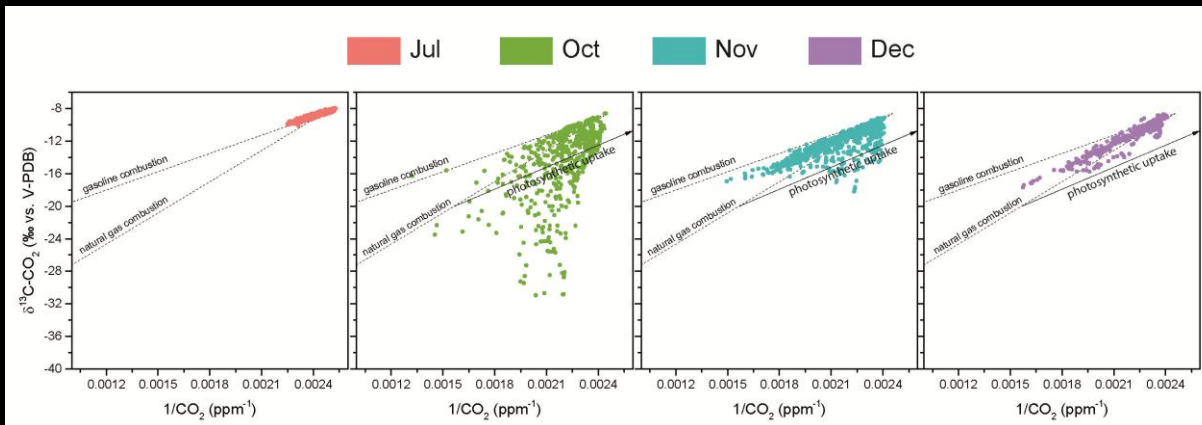


Potenziali sink di CO₂?

Durante il giorno, sia (i) **diluizione e dispersione** dovute o alla convezione delle masse d'aria o al trasporto da parte del vento, sia (ii) **uptake fotosintetico** possono contribuire a limitare parzialmente l'aumento delle concentrazioni di CO₂ dovuto alle emissioni antropogeniche. ➤ **effetti isotopici diversi: mixing vs. frazionamento isotopico**

Dati diurni (h 6-18)

$$\delta^{13}\text{CO}_{2_res} = (1000 + \delta^{13}\text{CO}_{2_ini})f\left(\frac{1}{\alpha_{air.plant}-1}\right) - 1000$$

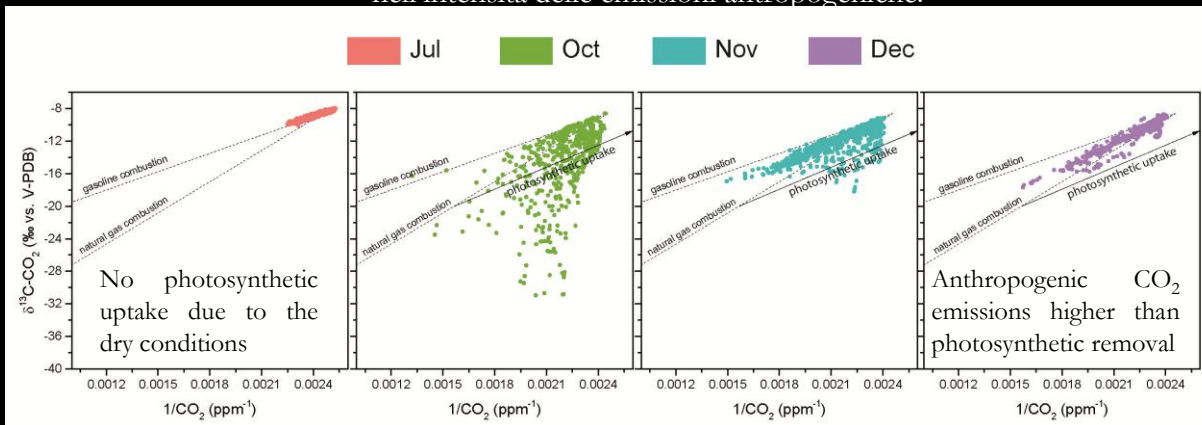


Potenziali sink di CO₂?

Durante il giorno, sia (i) **diluizione e dispersion** dovuta o alla convezione delle masse d'aria o al trasporto da parte del vento, sia (ii) **uptake fotosintetico** possono contribuire a limitare parzialmente l'aumento delle concentrazioni di CO₂ dovuto alle emissioni antropogeniche. ➤ **effetti isotopici diversi: mixing vs. frazionamento isotopico**

L'importanza dell'impatto dell'attività fotosintetica sui dati misurati mostra una forte stagionalità, a causa di (i) cicli stagionali delle piante in risposta a cambiamenti di temperature, umidità e irraggiamento e (ii) variazioni nell'intensità delle emissioni antropogeniche.

Dati diurni (h 6-18)

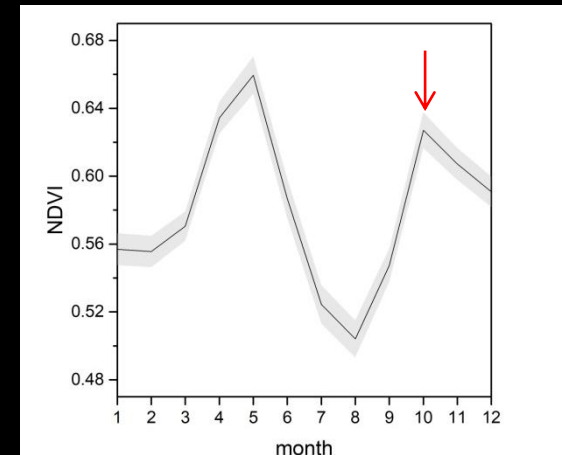
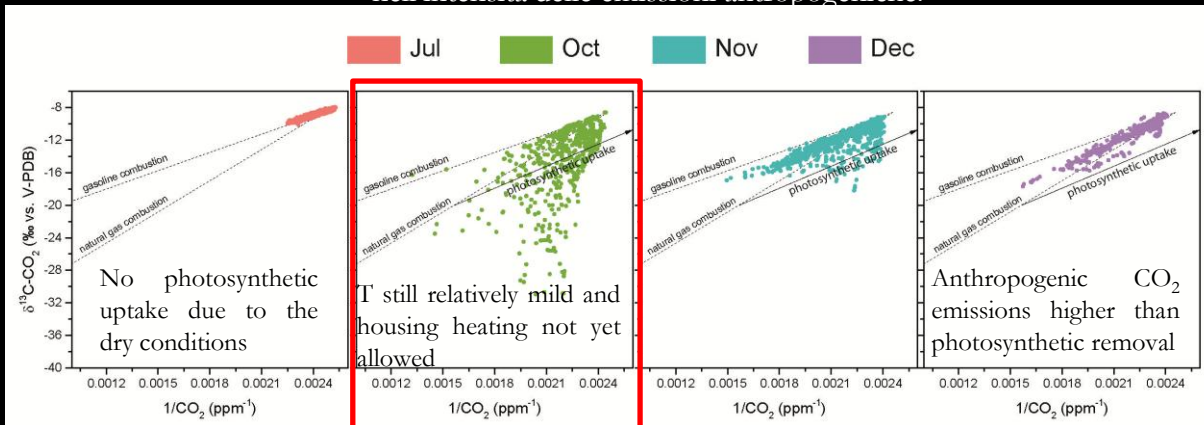


Potenziali sink di CO₂?

Durante il giorno, sia (i) **diluizione e dispersion** dovuta o alla convezione delle masse d'aria o al trasporto da parte del vento, sia (ii) **uptake fotosintetico** possono contribuire a limitare parzialmente l'aumento delle concentrazioni di CO₂ dovuto alle emissioni antropogeniche. ➤ **effetti isotopici diversi: mixing vs. frazionamento isotopico**

L'importanza dell'impatto dell'attività fotosintetica sui dati misurati mostra una forte stagionalità, a causa di (i) cicli stagionali delle piante in risposta a cambiamenti di temperature, umidità e irraggiamento e (ii) variazioni nell'intensità delle emissioni antropogeniche.

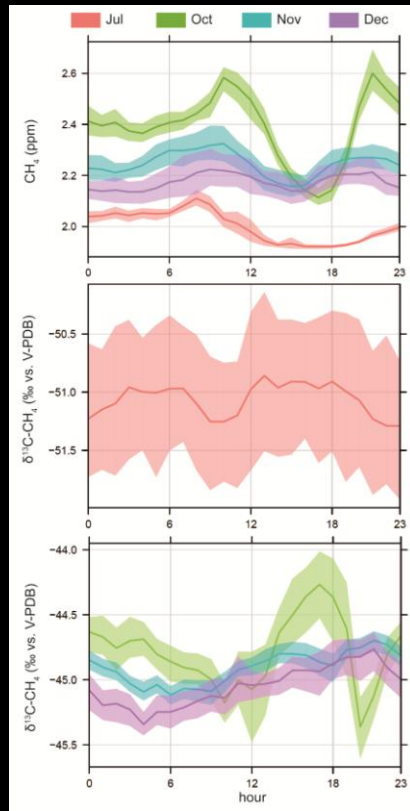
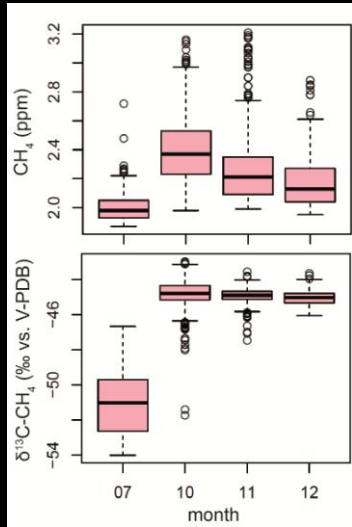
Dati diurni (h 6-18)



Monthly MODIS satellite NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Livelli di CH₄ e sorgenti di emissione

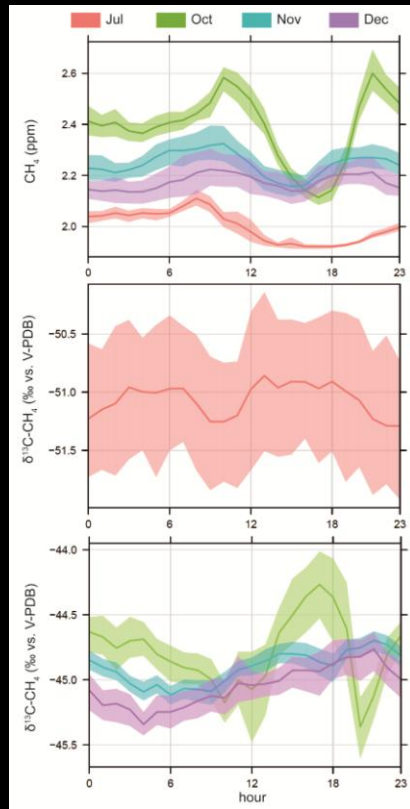
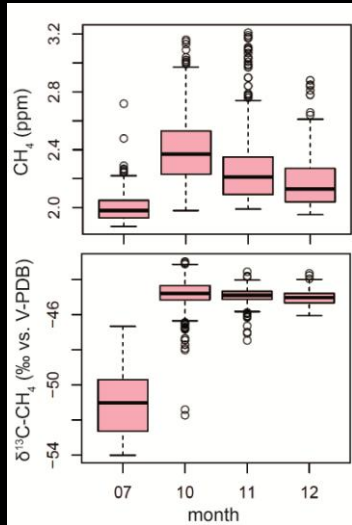
Le medie mensili misurate a Ottobre, Novembre e Dicembre sono 8.5, 20 e 13 % più alte di quelle osservate a Luglio, rispettivamente.



I trend stagionali osservati sia nelle concentrazioni che nei rapporti isotopici del CH₄ indicano variazioni nei contributi relativi da sorgenti di emissione e sink attivi durante l'anno.

Livelli di CH₄ e sorgenti di emissione

Le medie mensili misurate a Ottobre, Novembre e Dicembre sono 8.5, 20 e 13 % più alte di quelle osservate a Luglio, rispettivamente.



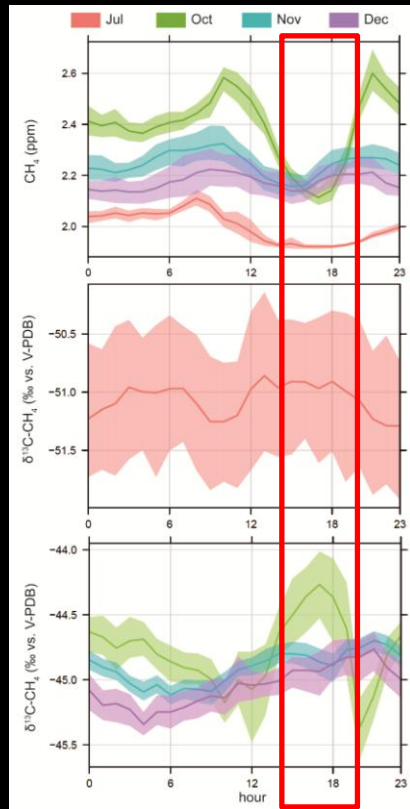
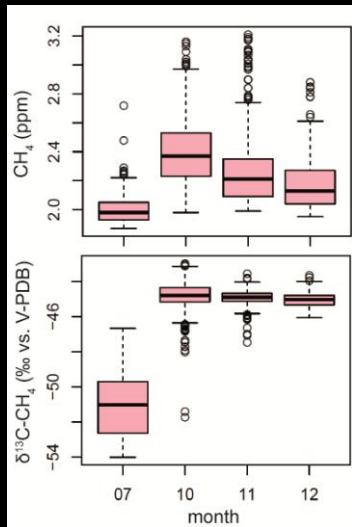
I trend stagionali osservati sia nelle concentrazioni che nei rapporti isotopici del CH₄ indicano variazioni nei contributi relativi da sorgenti di emissione e sink attivi durante l'anno.

A Luglio, i valori del δ¹³C-CH₄ sono relativamente costanti, indicando l'assenza di sorgenti di emissione locali rilevanti durante il giorno, e oscillano intorno a -51 ‰ vs. V-PDB (valore tipico di sorgenti biogeniche).

A Novembre e Dicembre, i valori del δ¹³C-CH₄ mostrano un trend regolare con valori minimi durante la notte e un progressivo arricchimento in ¹³C durante il giorno, probabilmente dovuto alle emission legate al riscaldamento domestico e al traffico serale.

Livelli di CH₄ e sorgenti di emissione

Le medie mensili misurate a Ottobre, Novembre e Dicembre sono 8.5, 20 e 13 % più alte di quelle osservate a Luglio, rispettivamente.



I trend stagionali osservati sia nelle concentrazioni che nei rapporti isotopici del CH₄ indicano variazioni nei contributi relativi da sorgenti di emissione e sink attivi durante l'anno.

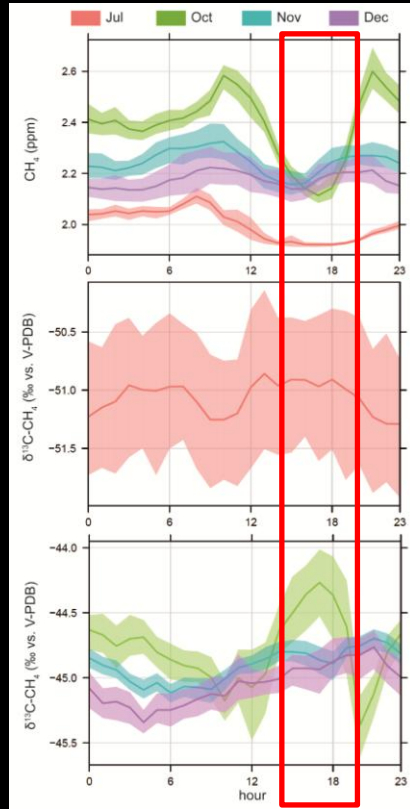
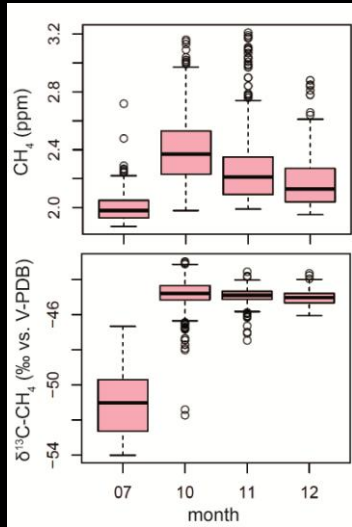
A Luglio, i valori del δ¹³C-CH₄ sono relativamente costanti, indicando l'assenza di sorgenti di emissione locali rilevanti durante il giorno, e oscillano intorno a -51 ‰ vs. V-PDB (valore tipico di sorgenti biogeniche).

A Novembre e Dicembre, i valori del δ¹³C-CH₄ mostrano un trend regolare con valori minimi durante la notte e un progressive arricchimento in ¹³C durante il giorno, probabilmente dovuto alle emission legate al riscaldamento domestico e al traffico serale.

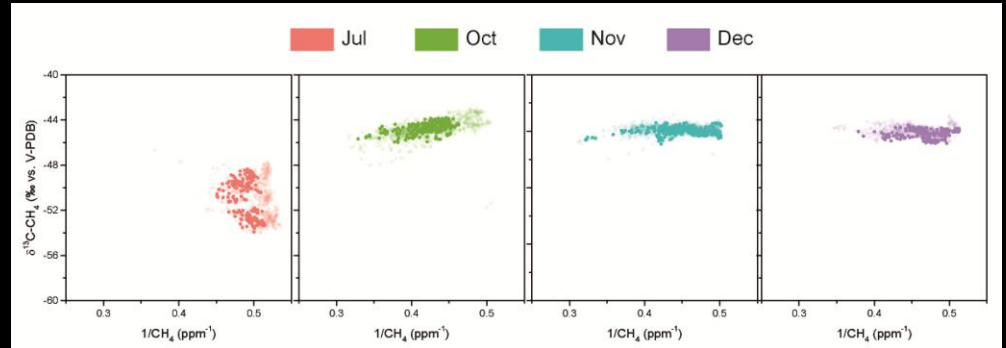
A Ottobre, i valori del δ¹³C-CH₄ appaiono inversamente correlati con le variazioni diurne delle concentrazioni, con rapporti isotopici più pesanti misurati alle 17:00 durante i giorni feriali. **(traffico veicolare)**

Livelli di CH₄ e sorgenti di emissione

Le medie mensili misurate a Ottobre, Novembre e Dicembre sono 8.5, 20 e 13 % più alte di quelle osservate a Luglio, rispettivamente.



Punti pieni: dati notturni (h 0-5)
Punti sfumati: dati diurni (h 6-23)



Firma isotopica da -51.2 a -47.0 da -55.8 a -46.7 da -52.1 a -39.6
stimata per il CH₄ ‰ vs. V-PDB ‰ vs. V-PDB ‰ vs. V-PDB
emesso:

Emissioni veicolari: da -32 a -26 ‰ vs. V-PDB

Agricoltura e trattamento rifiuti: ≤ -50 ‰ vs. V-PDB

→ Gas naturale: circa -44 ‰ vs. V-PDB

Perdite dalla rete di condutture di distribuzione del gas naturale