

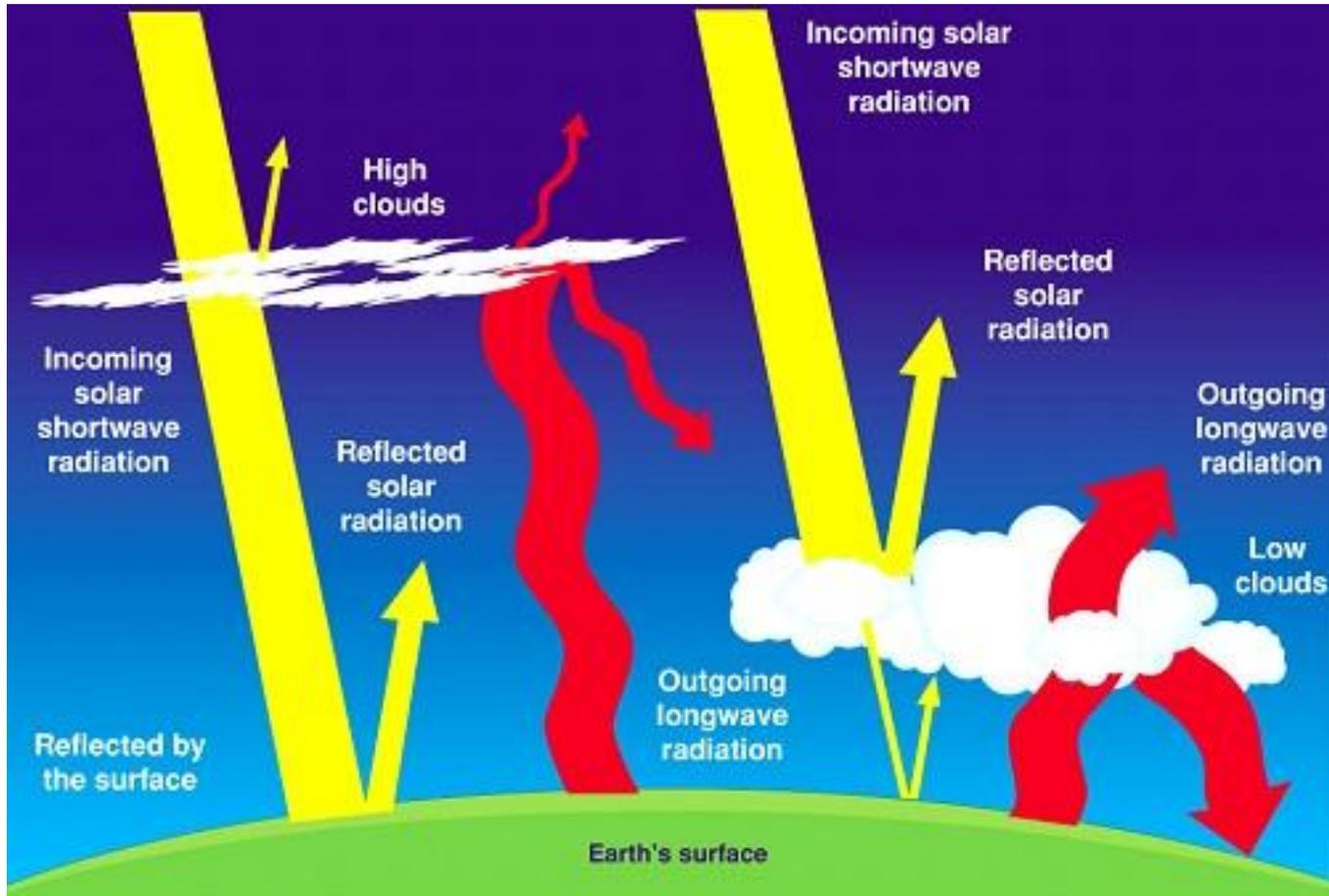
GAS SERRA



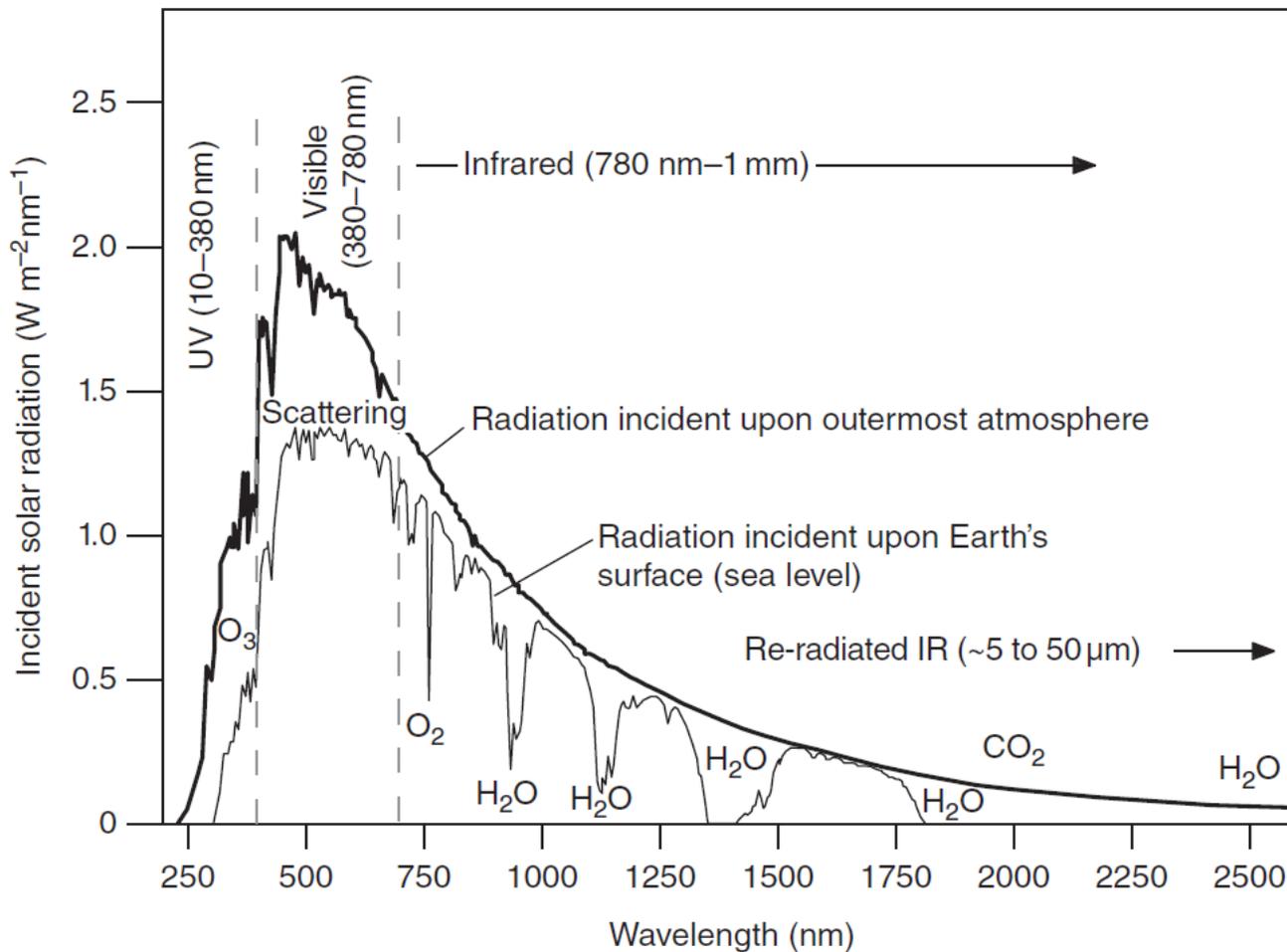
BILANCIO ENERGETICO TERRESTRE



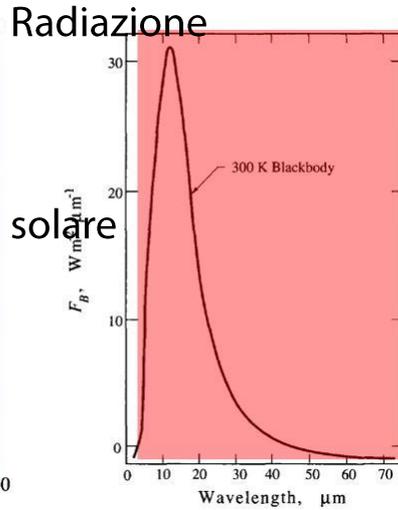
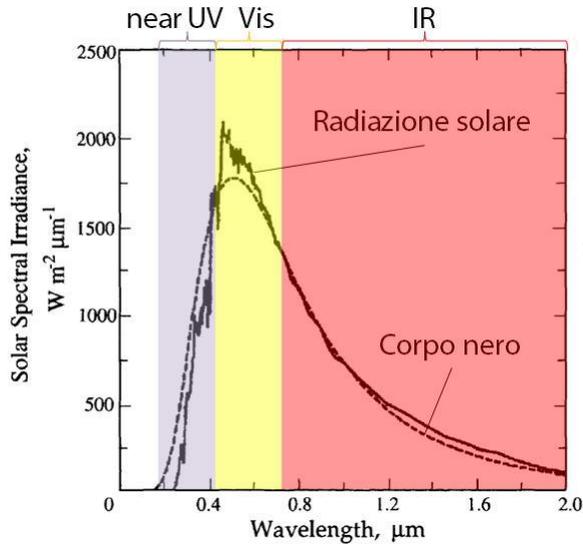
Bilancio termico terrestre



Radiazione solare



Radiazione terrestre



Radiazione terrestre in base alla legge di Wien:

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

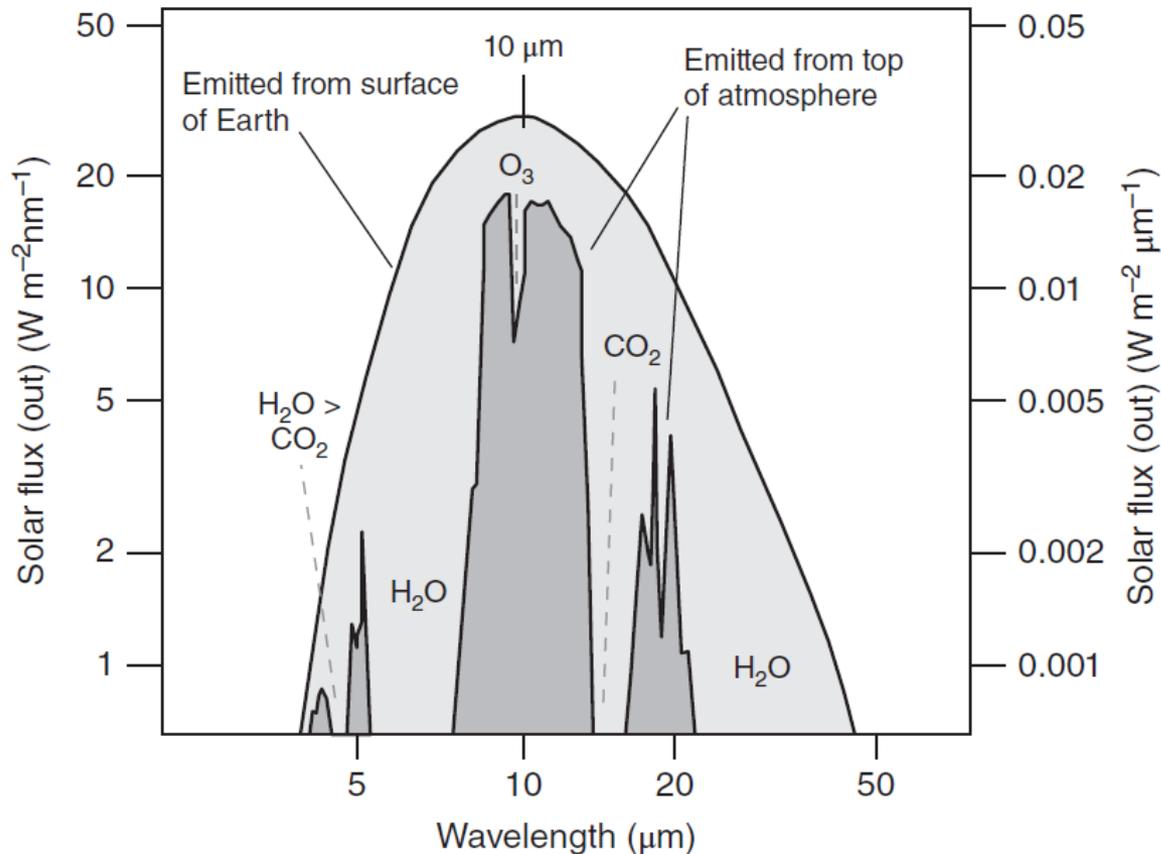
$b = 2.897721 \times 10^{-3} \text{ K m}$
 $T = \text{temperatura in K}$

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:

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

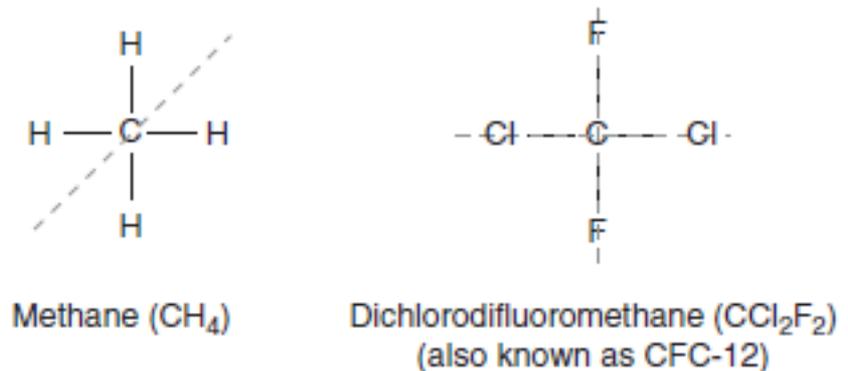
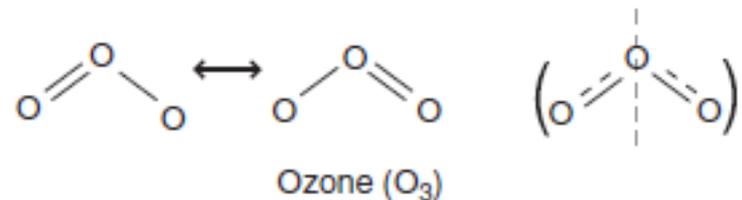
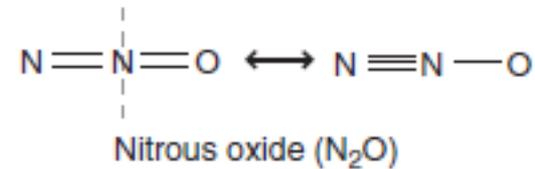
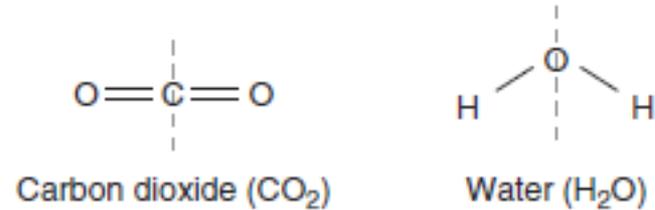
Per una concentrazione di CO₂ atmosferica di 280 ppm (livelli pre-industriali), $g_h = 0.61$: il 61% della radiazione IR re-irradiata sfugge dall'atmosfera, il rimanente 0.39% interagisce con CO₂, H₂O e altri gas serra ed è riflessa indietro verso la superficie terrestre, e la temperatura superficiale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



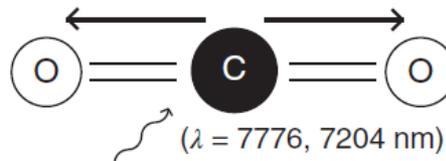
Gas serra

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

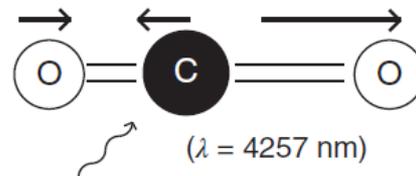
Relaxed state



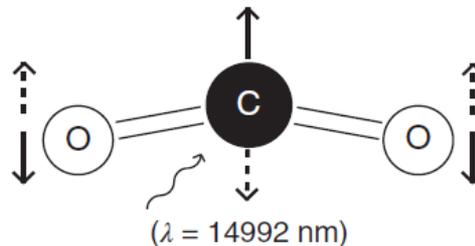
Symmetrical stretch (ν_s)



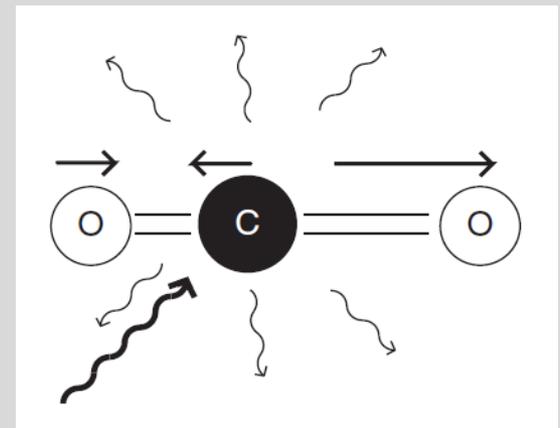
Asymmetrical stretch (ν_{as})



Bend (δ)

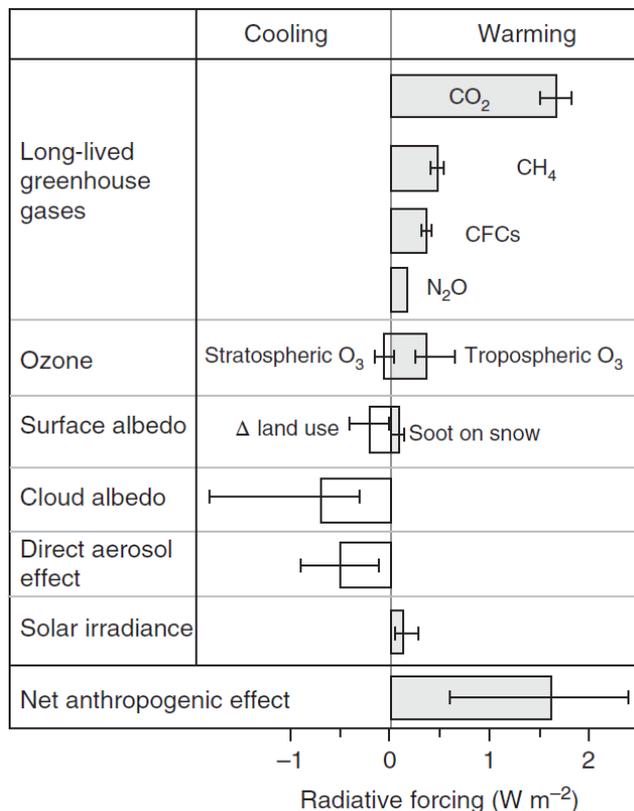


Le vibrazioni prodotte fanno sì che l'energia IR venga re-irradiata in tutte le direzioni. Parte di essa verrà quindi nuovamente indirizzata verso la superficie terrestre.



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

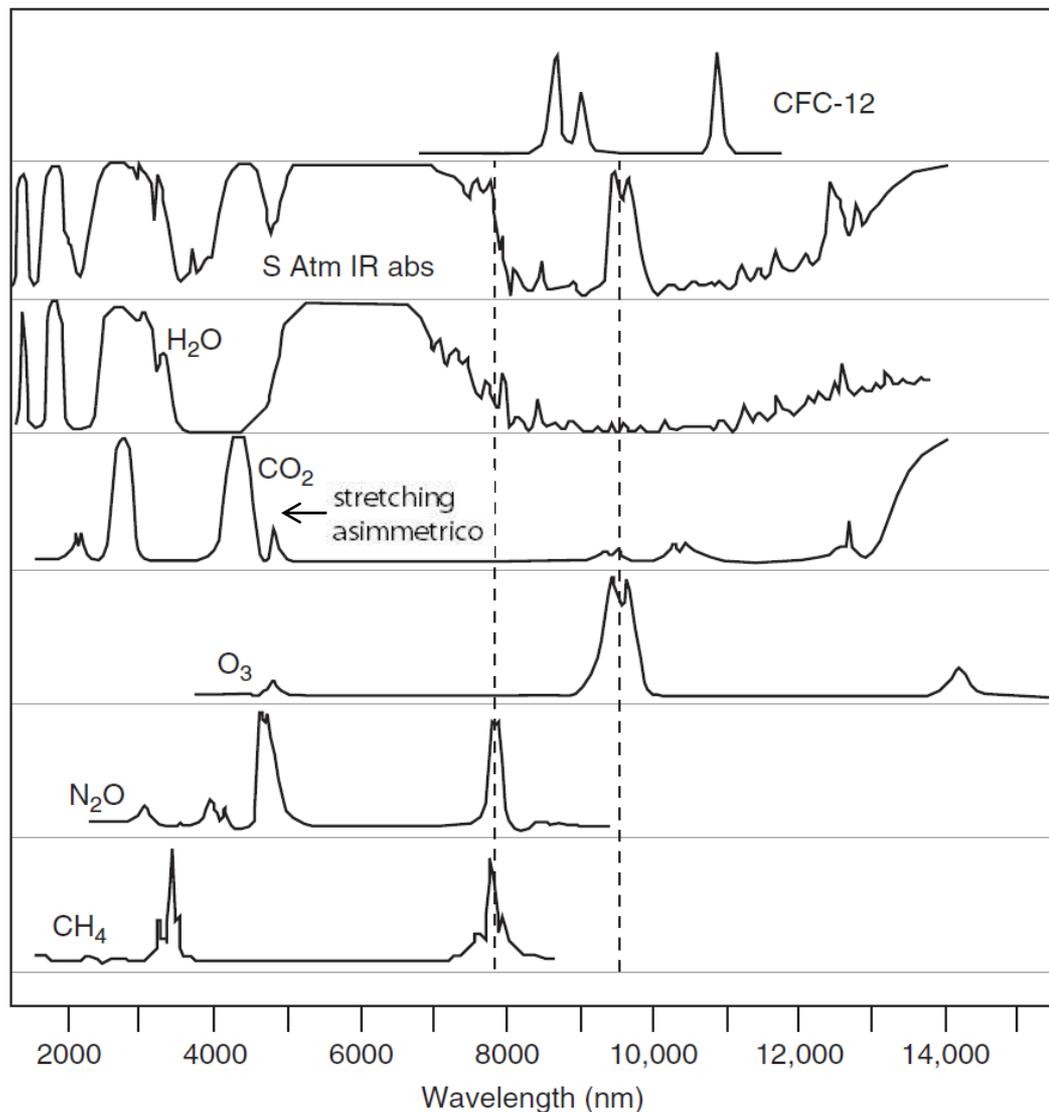
| Gas | Percent of relative radiative forcing |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Carbon dioxide, (CO ₂) | 64 |
| Methane (CH ₄) | 19 |
| Halocarbons (mostly CFCs) | 11 |
| Nitrous oxide (N ₂ O) | 6 |

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.

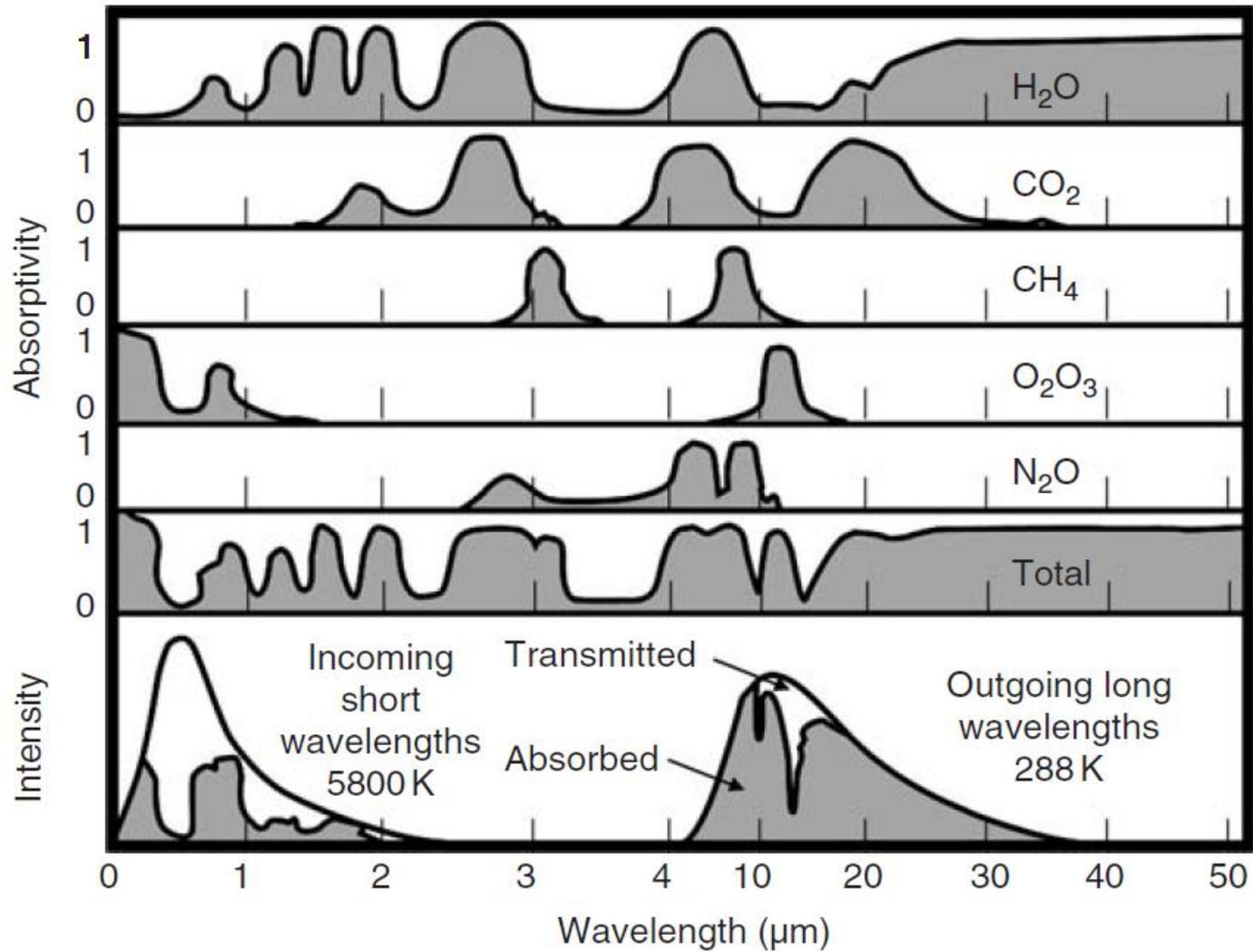
Forcing radiativo e GWP



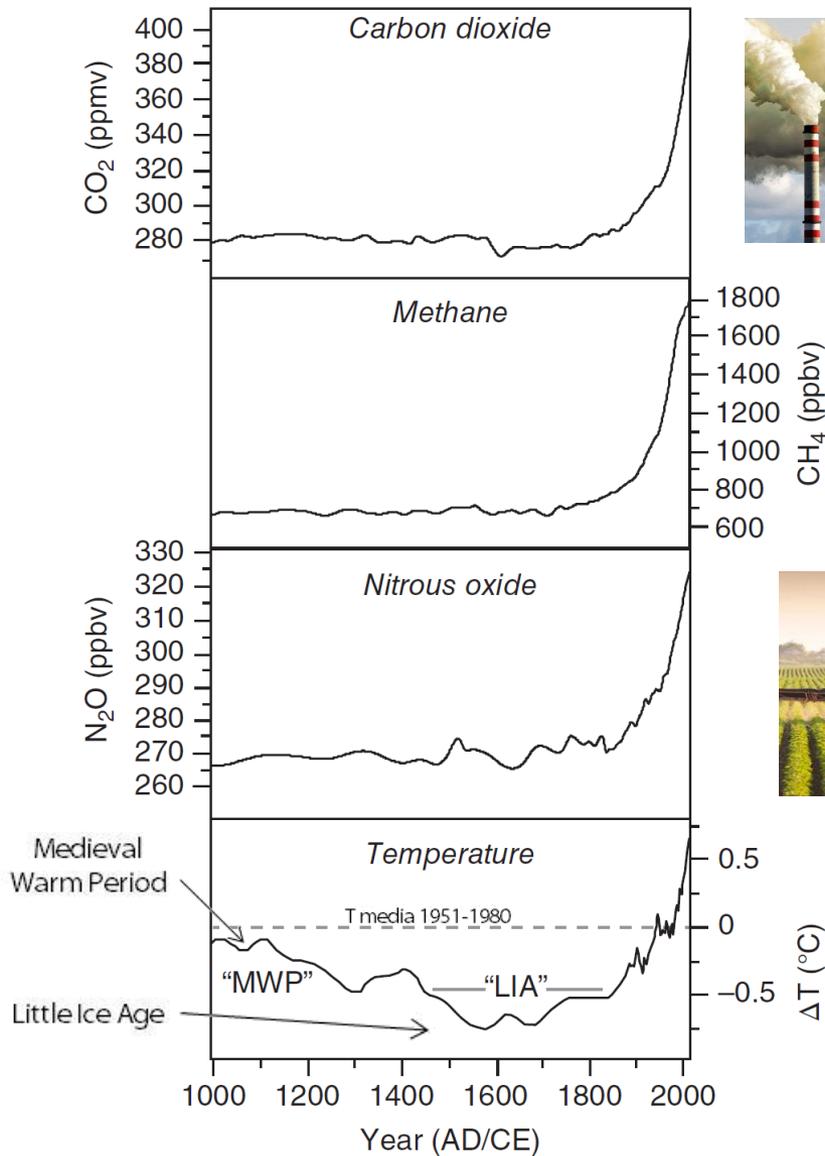
1. In alcune regioni dello spettro, la radiazione IR è interamente assorbita: eventuali aggiunte di H₂O o CO₂ non hanno impatto sull'intrappolamento di calore (almeno non in questi range di IR)
2. Gas in tracce come N₂O, CH₄ e soprattutto CFC-12 assorbono IR in regioni in cui né H₂O né CO₂ assorbono.

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



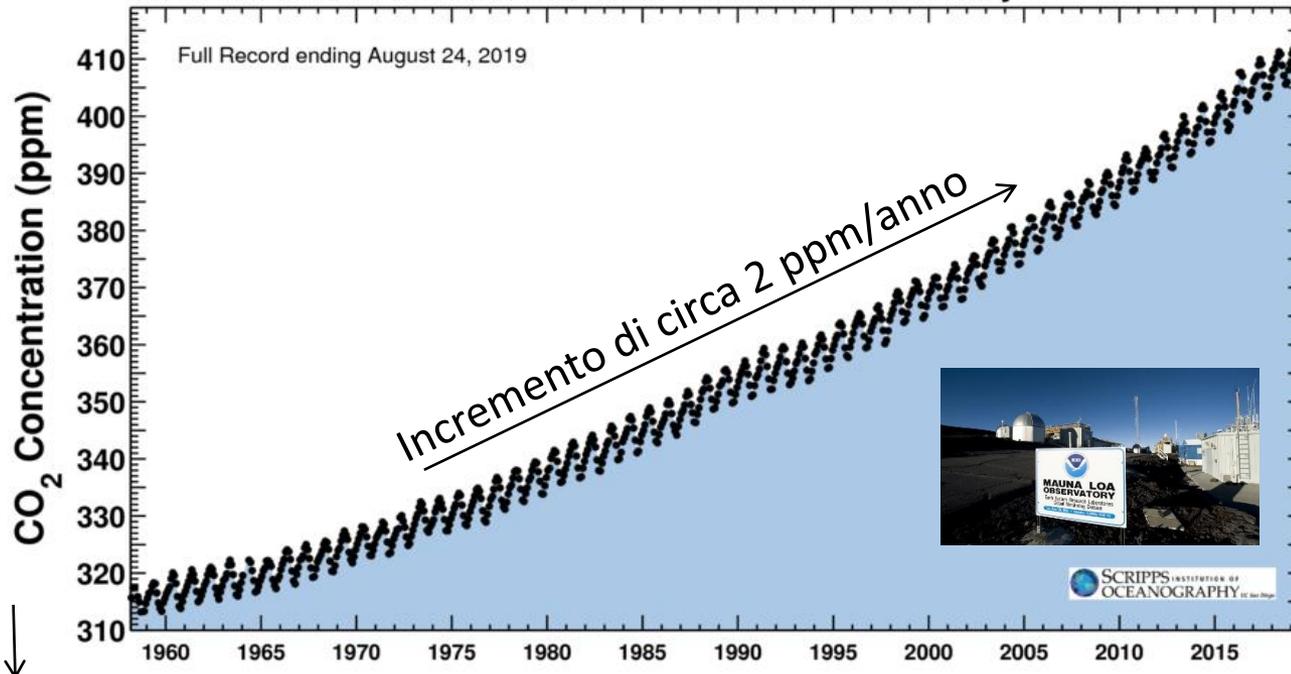
Anidride carbonica (CO₂)



Charles David Keeling

Latest CO₂ reading
August 22, 2019

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory



280 ppm durante
l'Olocene

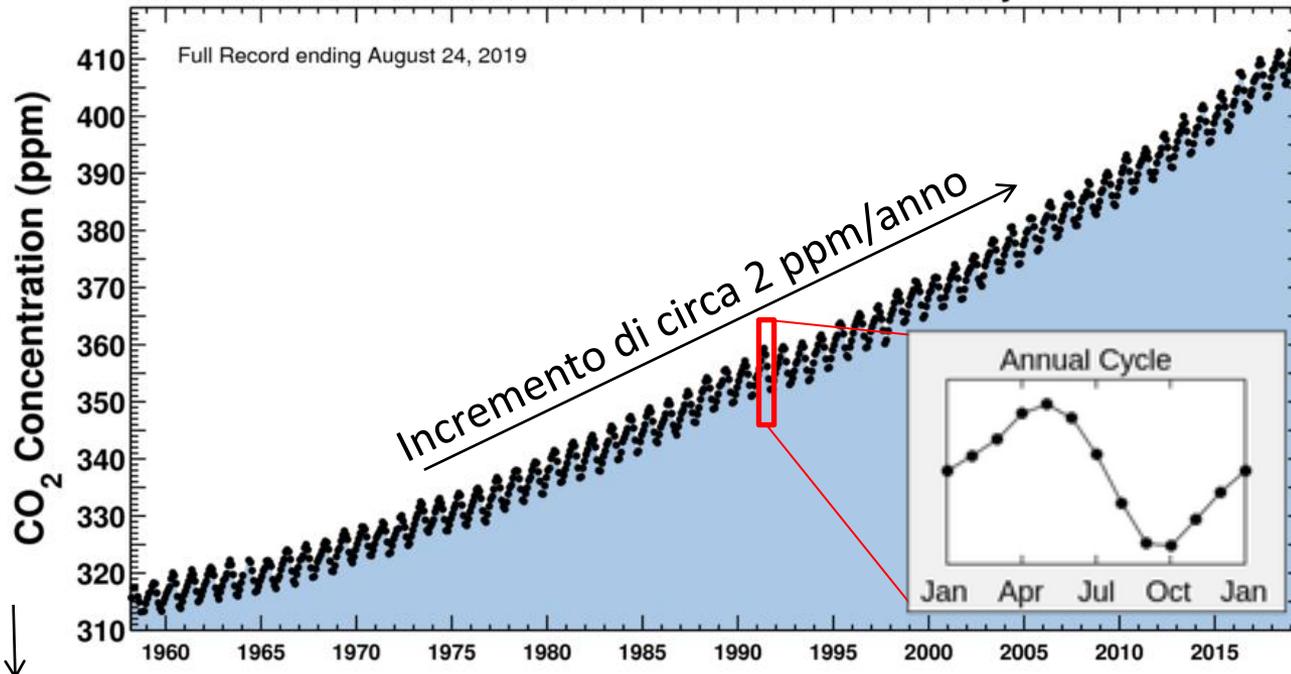
Anidride carbonica (CO₂)



Charles David Keeling

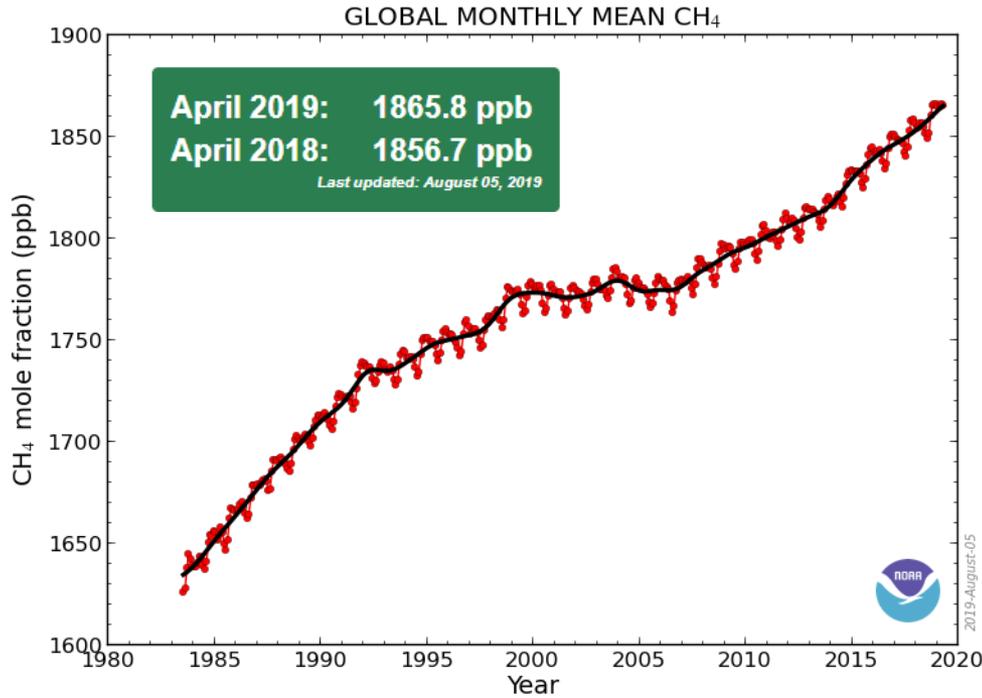
Latest CO₂ reading
August 22, 2019

Carbon dioxide concentration at Mauna Loa Observatory

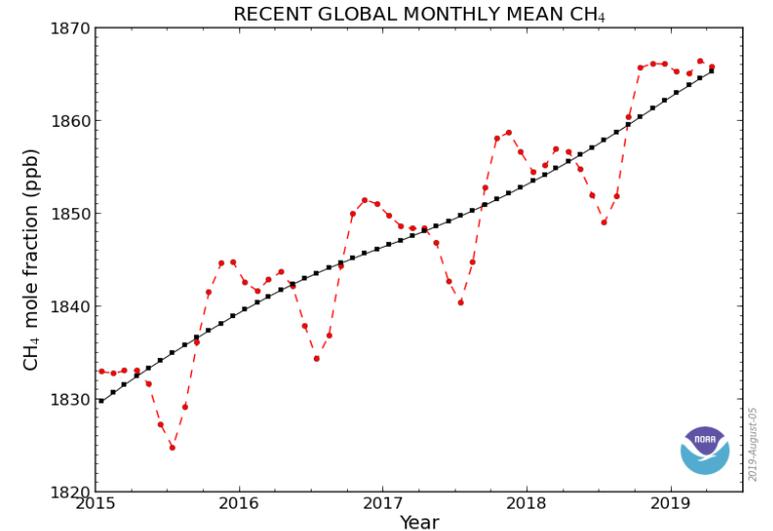
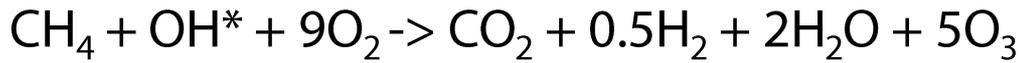
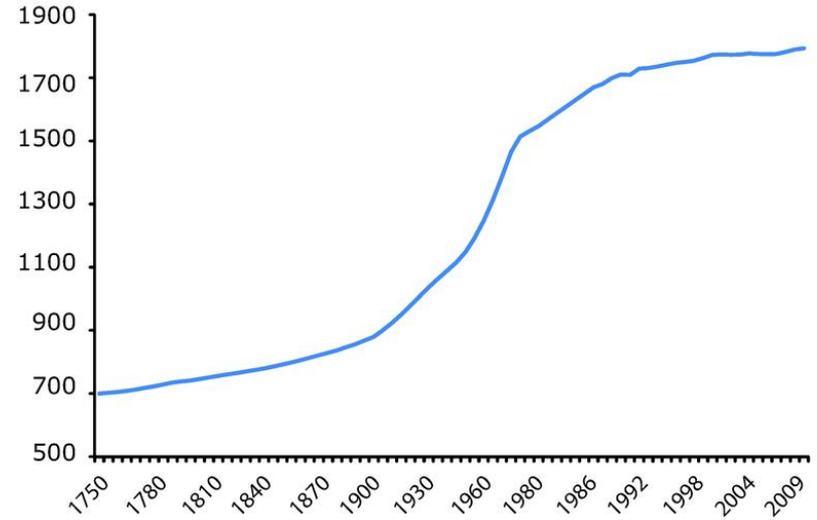


↓
280 ppm durante
l'Olocene

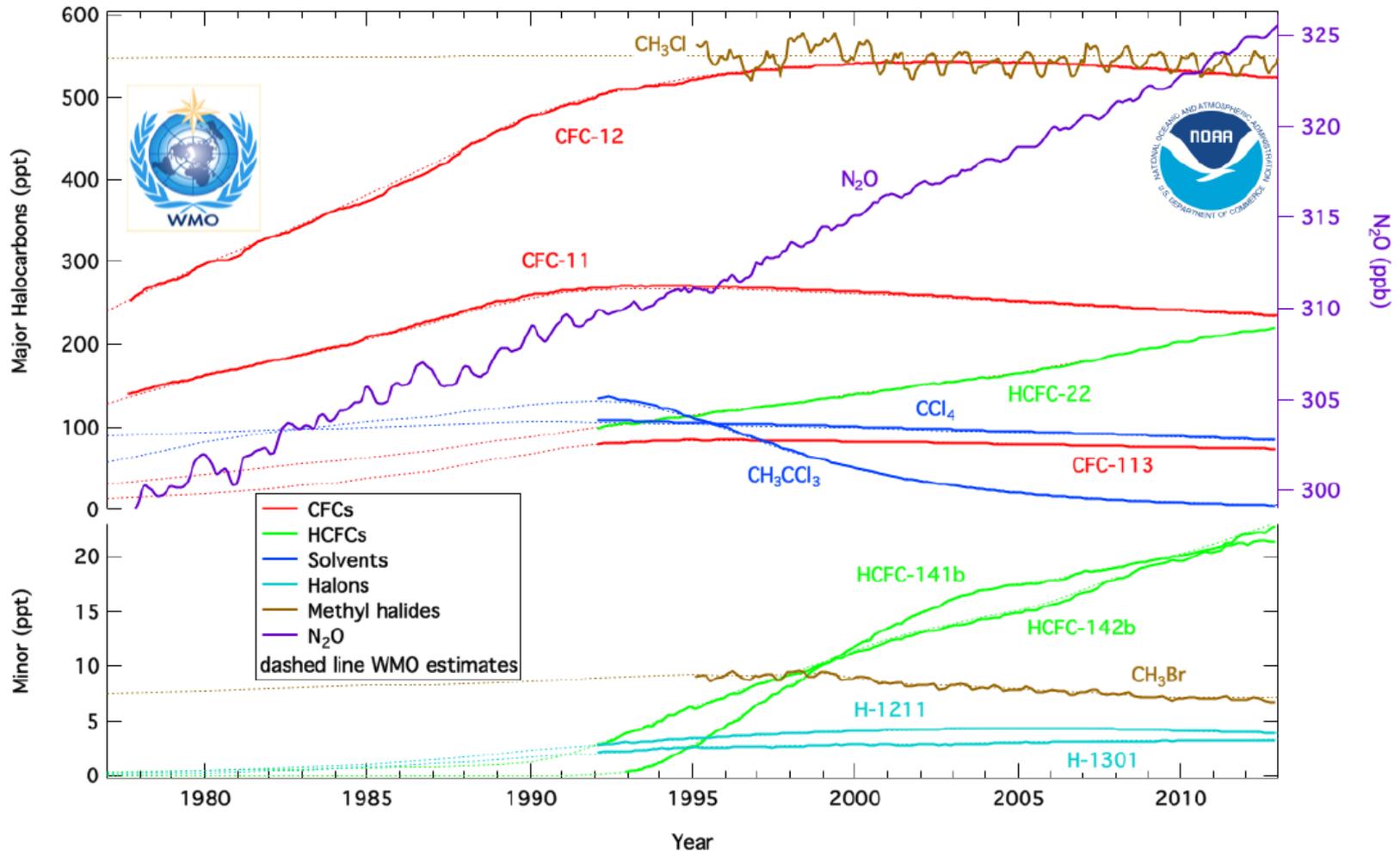
Metano (CH₄)



CH₄ concentration (ppb)



Clorofluorocarburi (CFC)



Accordo di Parigi

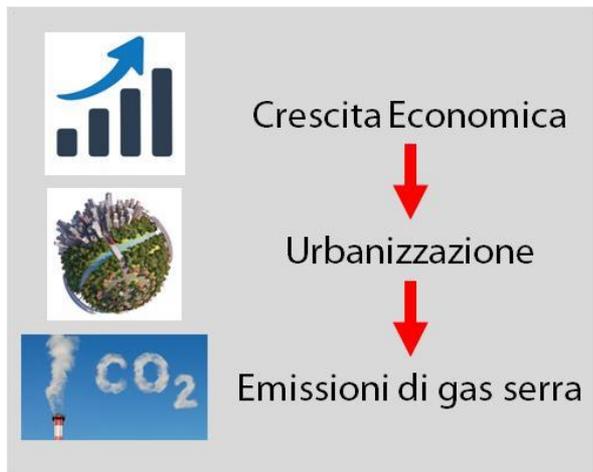
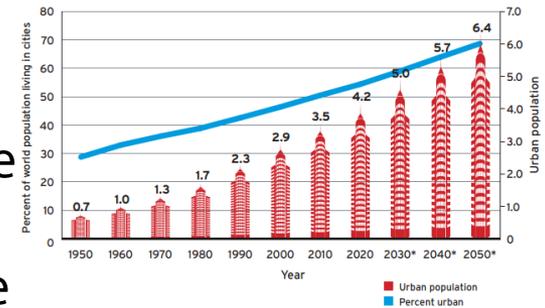
Art. 2.1: ... aims to strengthen the global response to the threat of climate change, in the context of sustainable development ...



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

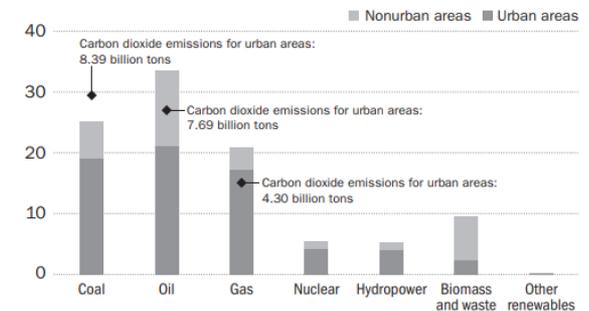


- ~2% della superficie terrestre
- >50% della popolazione mondiale
- 70-90% delle attività economiche



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

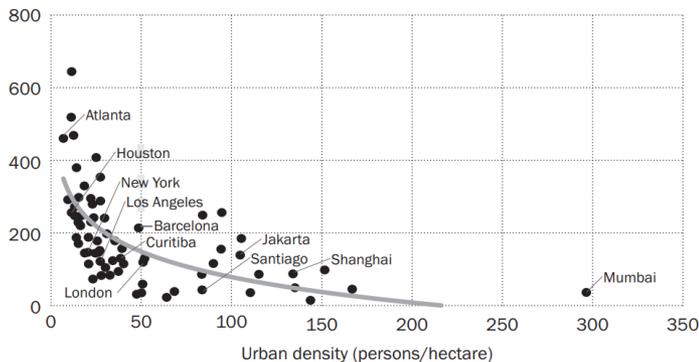
In base alle osservazioni di Hoornweg et al. (2011) su circa 100 città, le emissioni di GHG pro-capite annuali variano da <0.5 t CO₂eq (es. varie città in Nepal, India, Bangladesh) a >15 t CO₂eq (es. Sydney, Calgary, Stuttgart, e diverse città principali degli USA).

Città e Gas serra

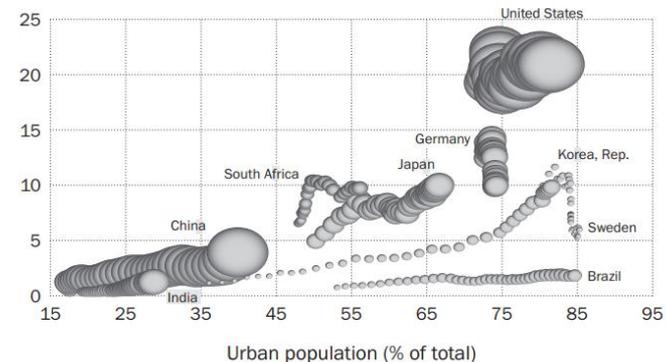
L'impatto di una città in termini di contributo alle emissioni di gas serra dipende da:

- 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.

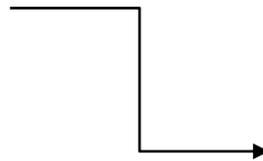
Approccio bottom-up: si quantificano le emissioni di gas serra dalle sorgenti per determinarne l'impatto sull'atmosfera

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



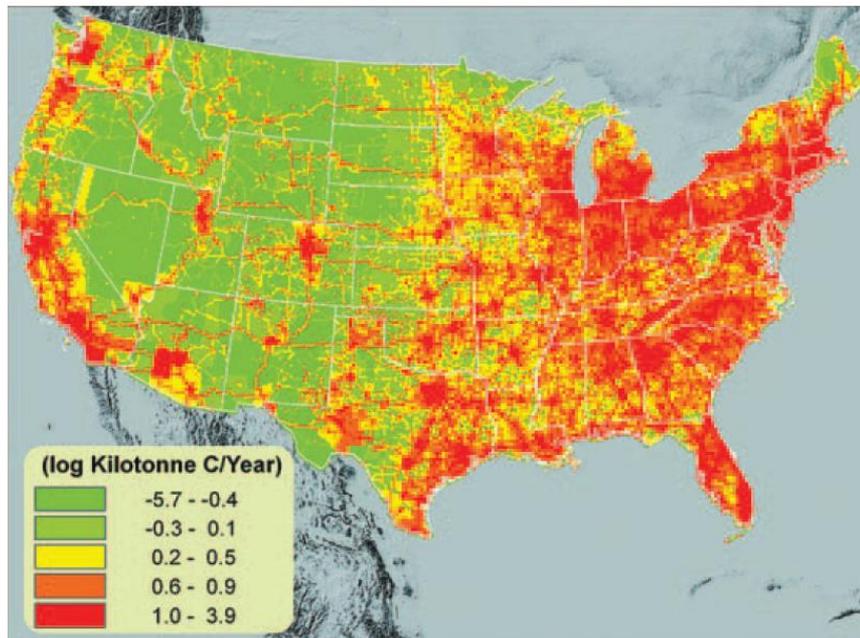
Politiche di sostenibilità urbana

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:



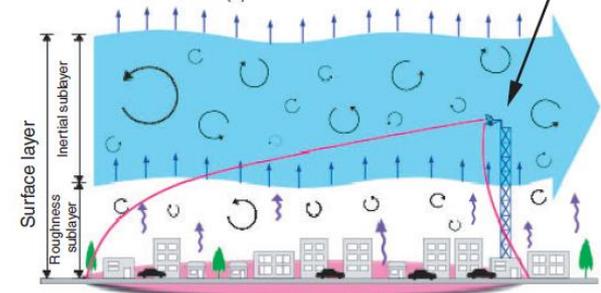
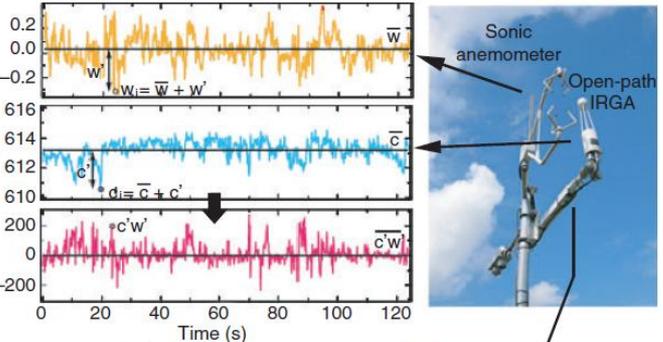
Città del Messico
410 $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$



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

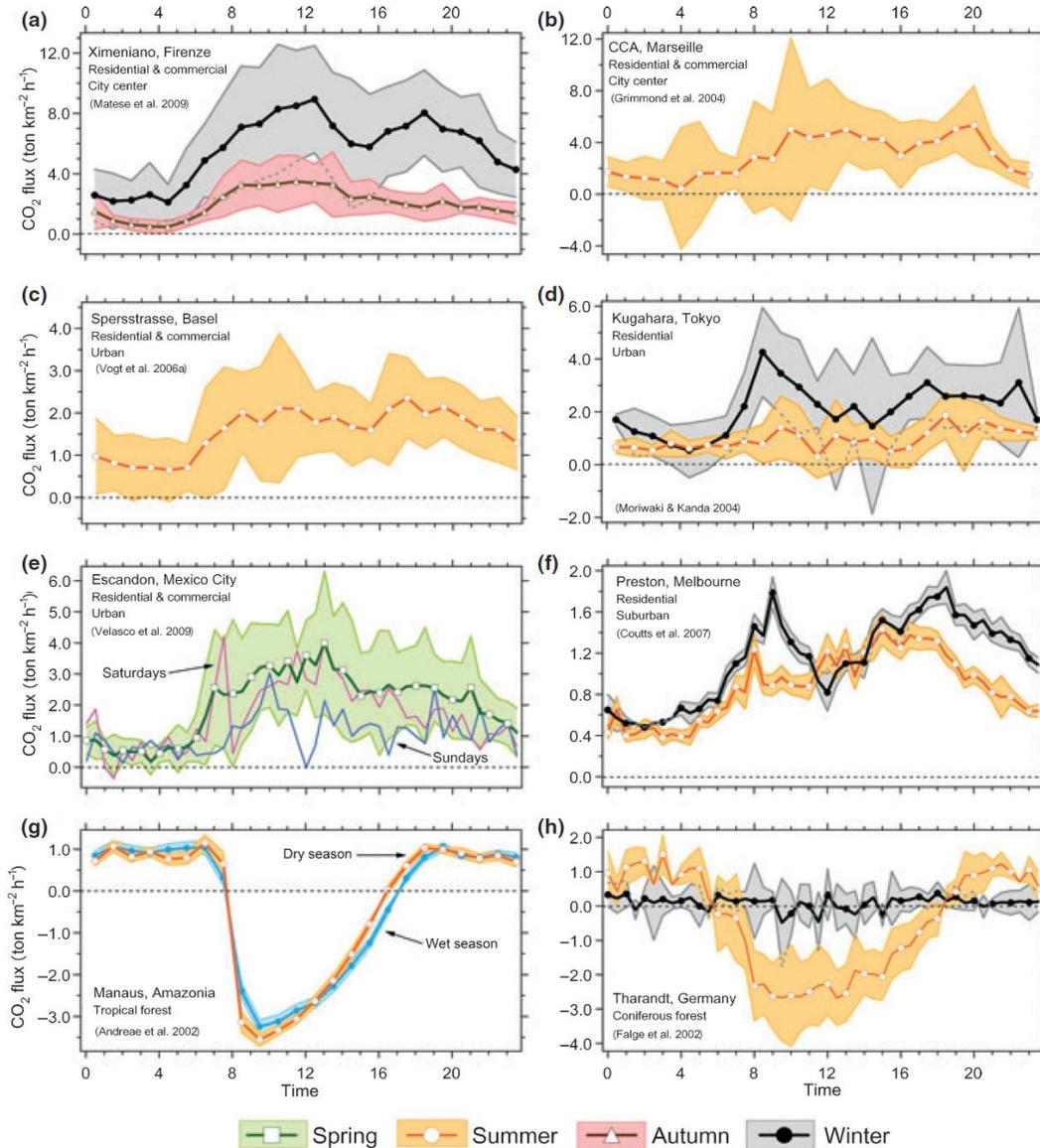


Chicago
Estate: 440 (notte) - 1670 (giorno) $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$

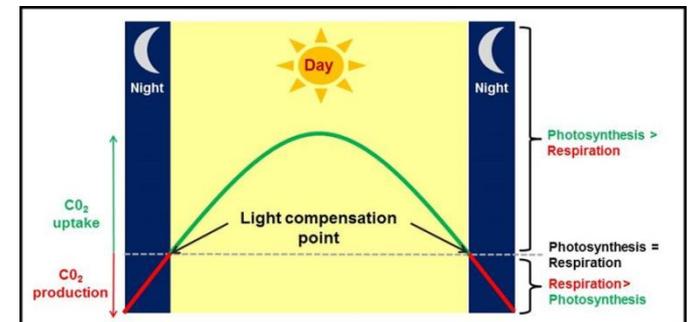


Edimburgo
Autunno: 750 (notte) - 1670 (giorno) $\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$

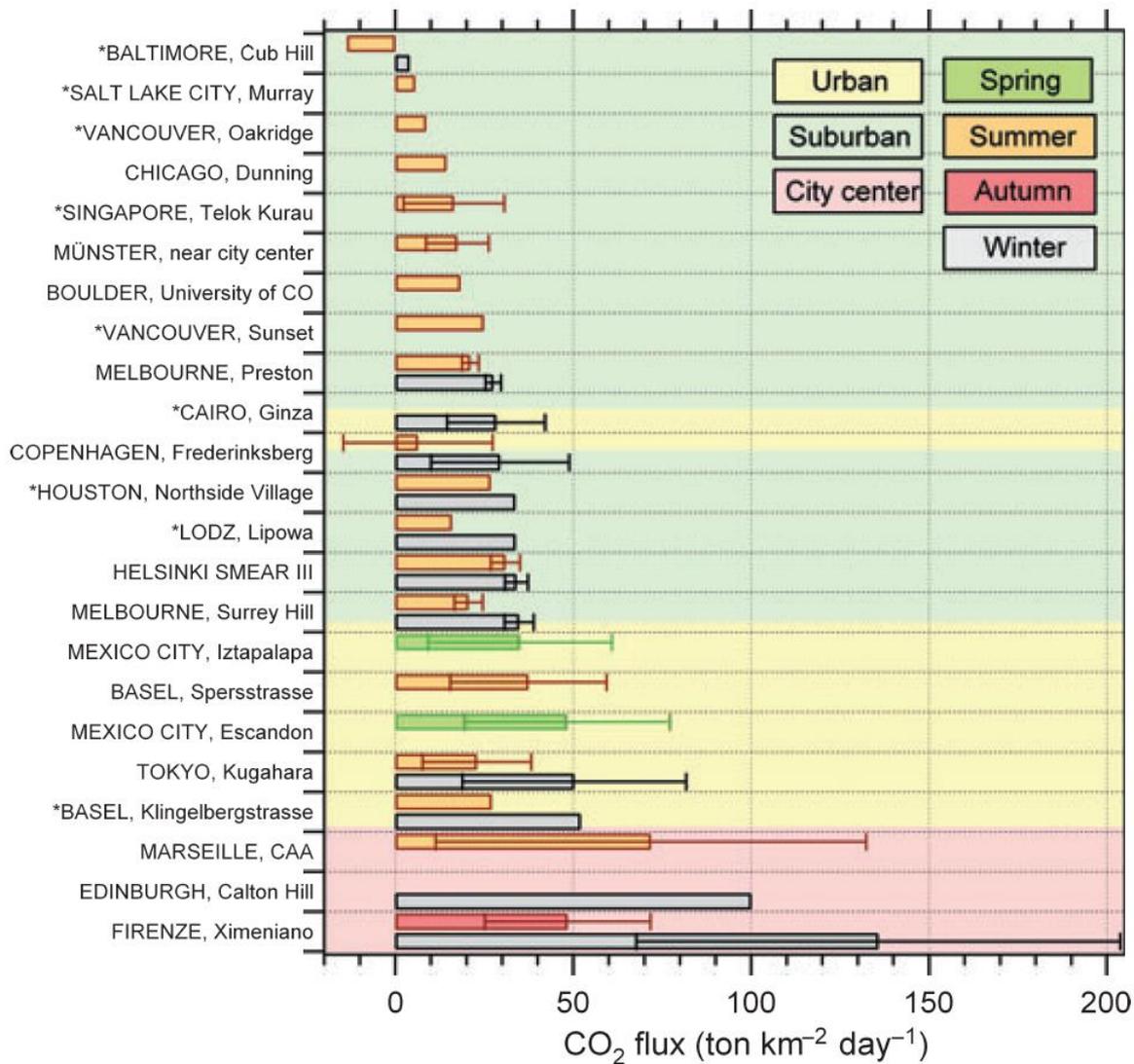
Flussi di CO₂



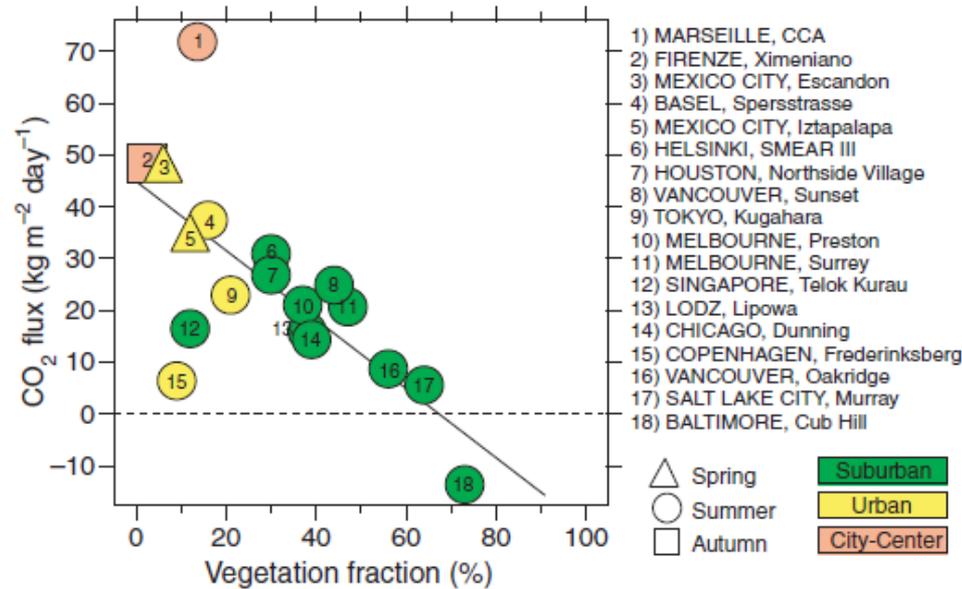
Flussi di CO₂ misurati in varie città del mondo risultano positivi (diretti dalla superficie terrestre verso l'atmosfera) durante la maggior parte delle ore diurne: le città sono sorgenti di CO₂.



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.

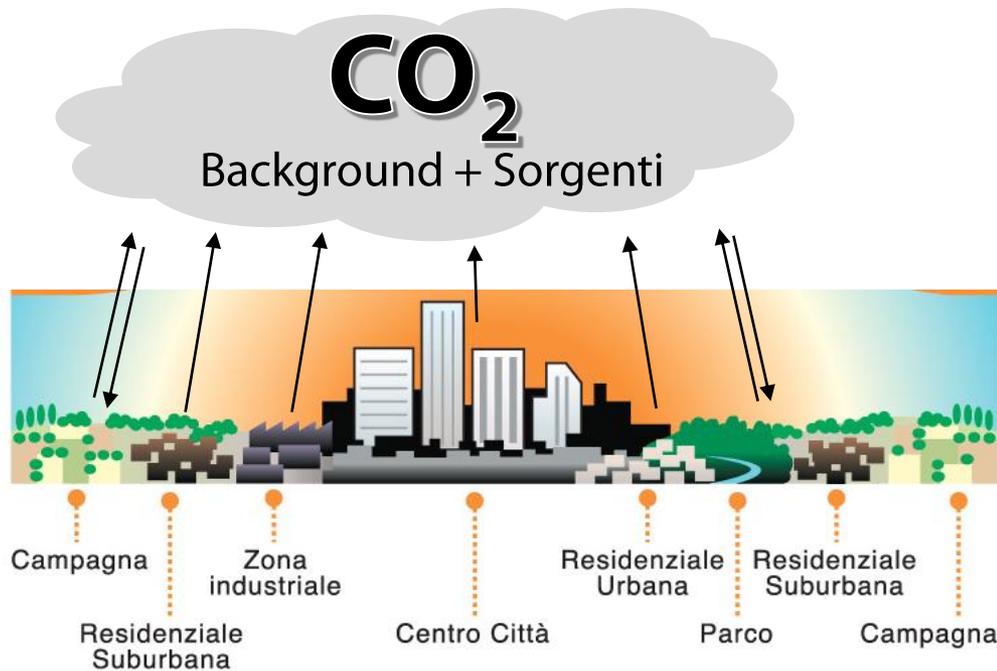


Gli isotopi stabili possono essere utilizzati come traccianti geochimici:

| 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

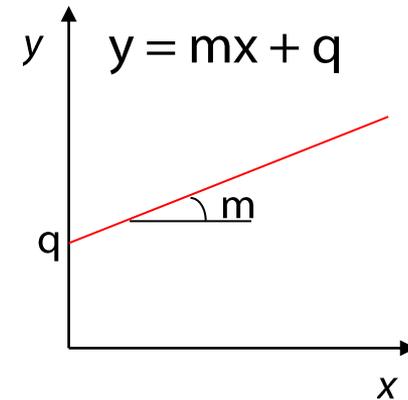
$$\delta^{13}CO_{2_misurata} \times CO_{2_misurata} = \delta^{13}CO_{2_background} \times CO_{2_background} + \delta^{13}CO_{2_emessa} \times CO_{2_emessa}$$

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)

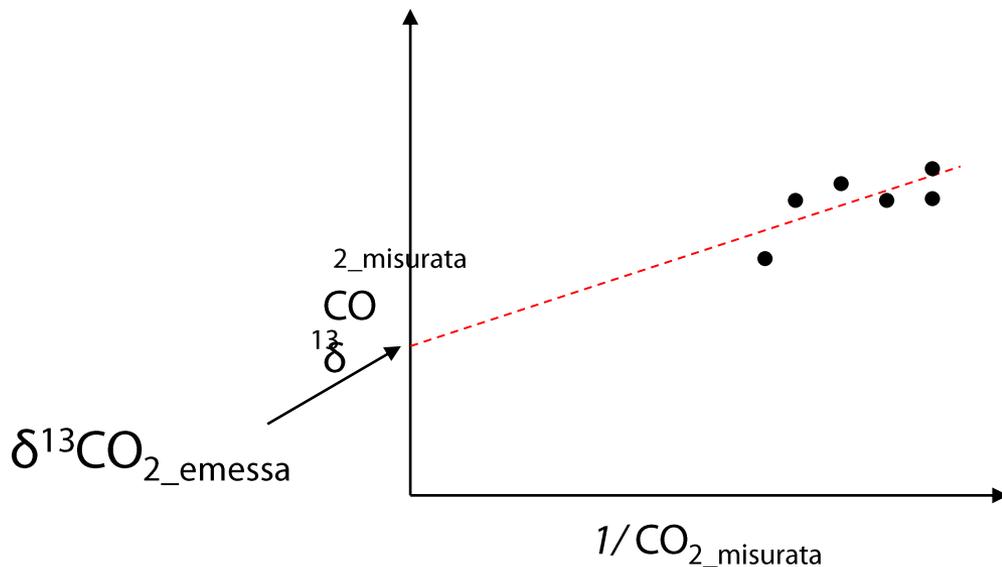
Si tratta di due metodi grafici in cui la composizione isotopica della CO₂ emessa da sorgenti locali viene ottenuta come intercetta o pendenza di una retta all'interno di uno specifico grafico.



Keeling plot

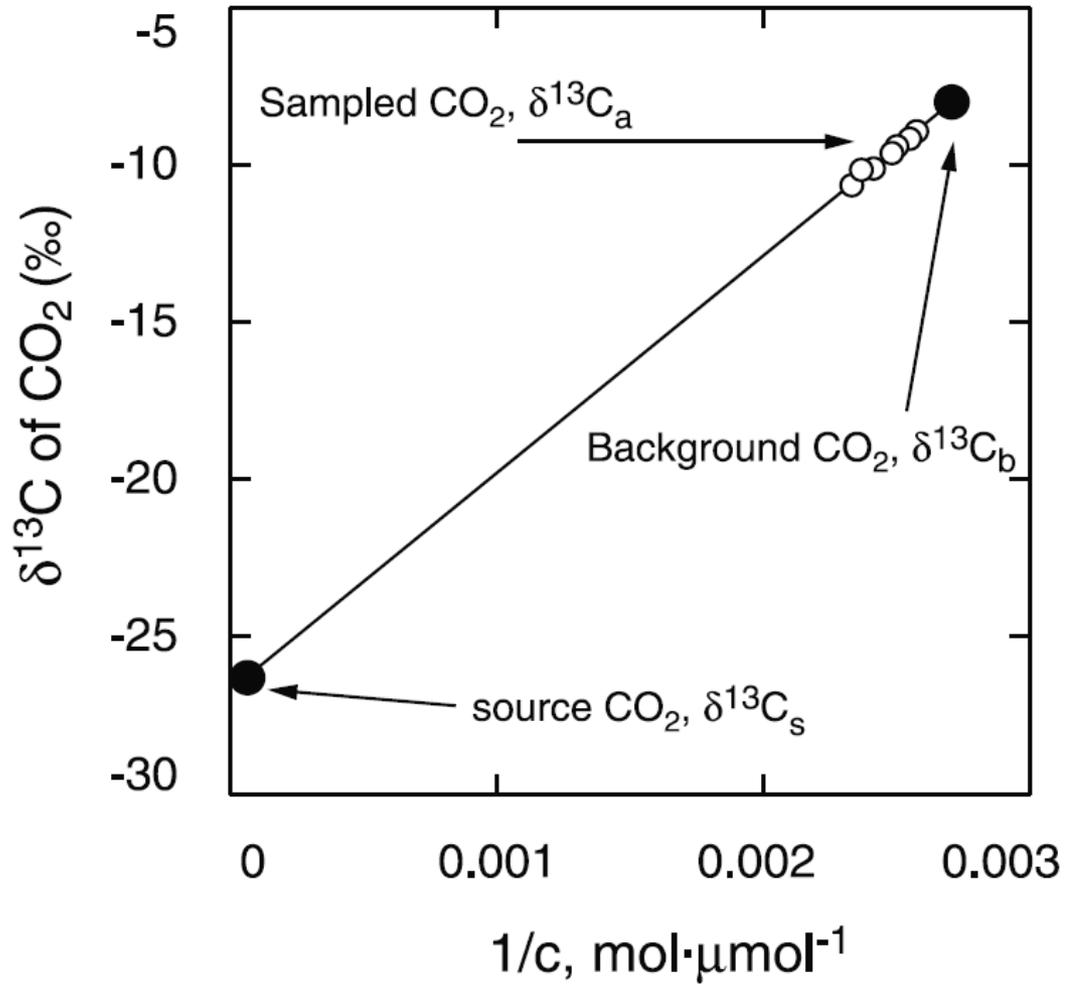
Nel caso del Keeling plot i bilanci di massa precedentemente descritti vengono riformulati nel modo seguente:

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



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.

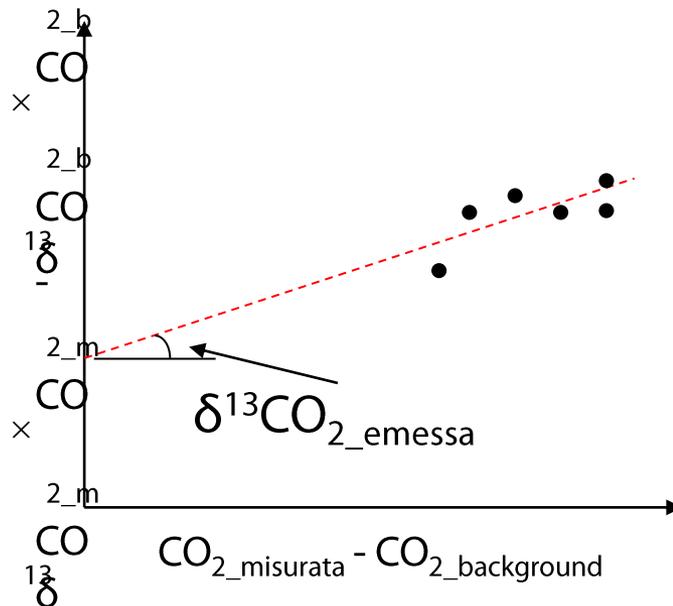
Keeling plot



Miller-Tans

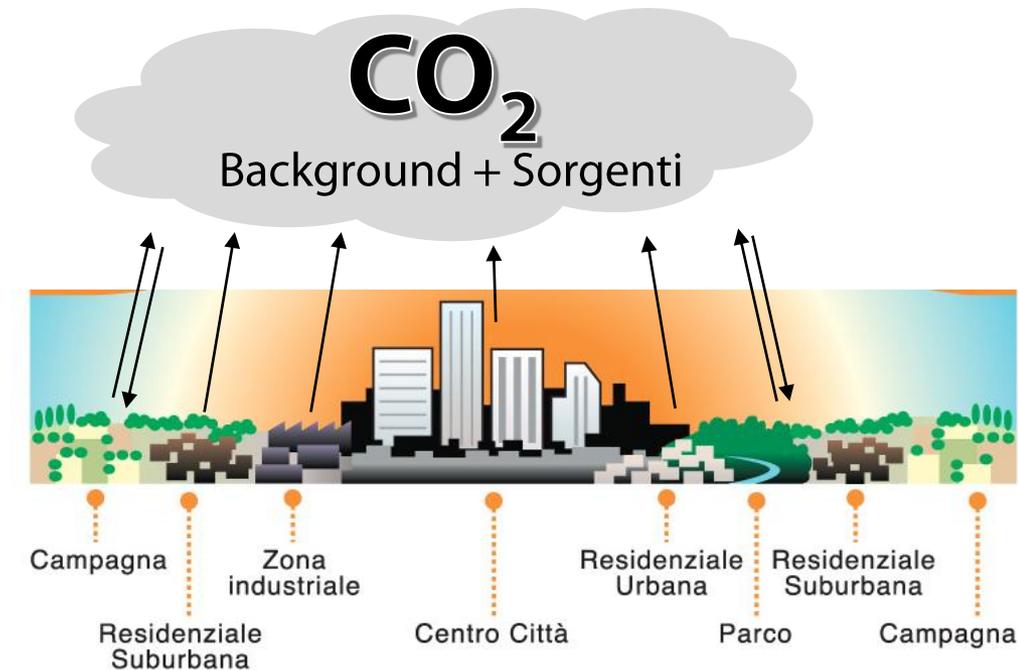
Nel caso dell'approccio Miller-Tans i bilanci di massa precedentemente descritti vengono riformulati nel modo seguente:

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



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



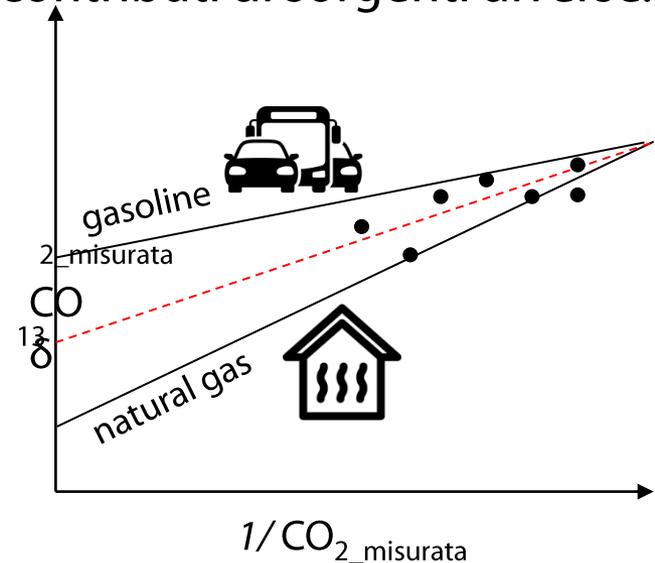
$$\begin{cases} CO_{2_emessa} = CO_{2_g} + CO_{2_n} \\ \delta^{13}CO_{2_emessa} \times CO_{2_emessa} = \delta^{13}CO_{2_g} \times CO_{2_g} + \delta^{13}CO_{2_n} \times CO_{2_n} \end{cases}$$

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

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

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:

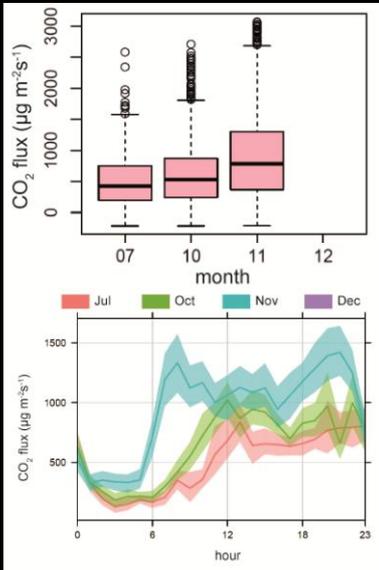
- flussi di CO_2 (eddy covariance);
- concentrazioni e rapporti isotopici del carbonio in CO_2 e CH_4 (Picarro G2201-i);
- parametri meteorologici



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

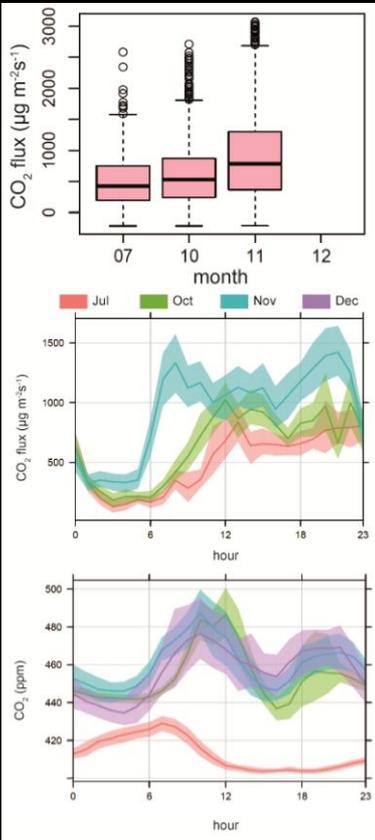


I flussi di CO₂ medi mensili dalla città misurati a Ottobre e Novembre sono del 26% e 82% più alti di quelli osservati a Luglio, rispettivamente.

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



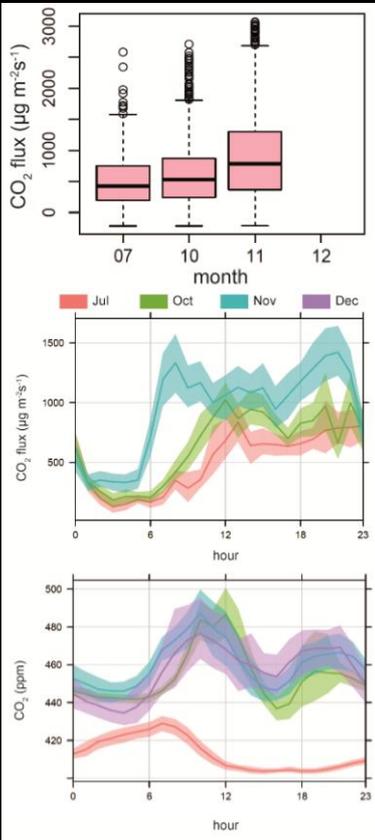
I flussi di CO₂ medi mensili dalla città misurati a Ottobre e Novembre sono del 26% e 82% più alti di quelli osservati a Luglio, rispettivamente.

Il ciclo diurno dei flussi di CO₂ indica che le 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.

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.

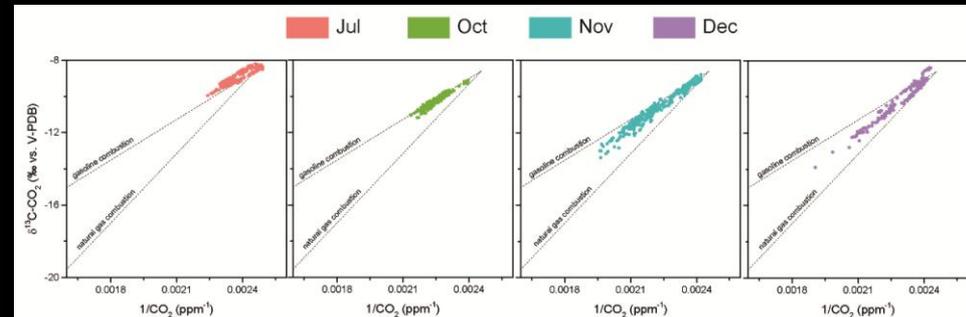
SORGENTE DI CO₂

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

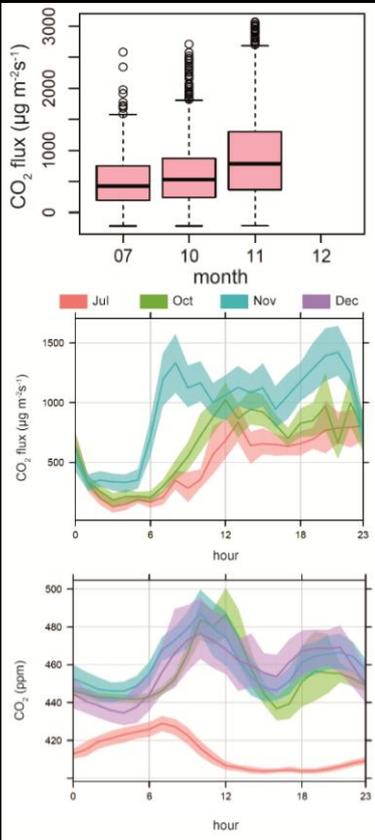
Il metodo del Keeling plot è stato adottato per identificare le sorgenti di emissione

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.

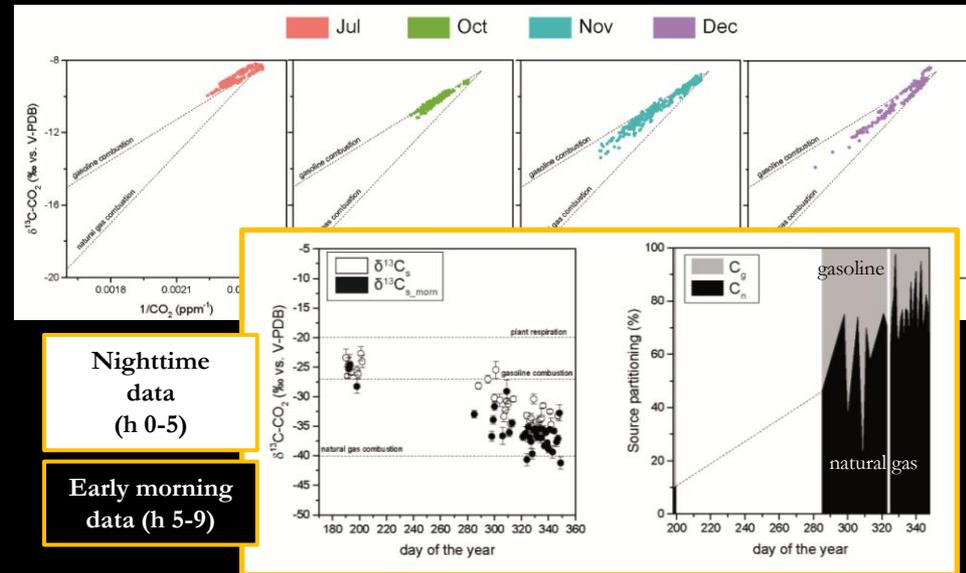
NET SOURCE OF CO₂

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

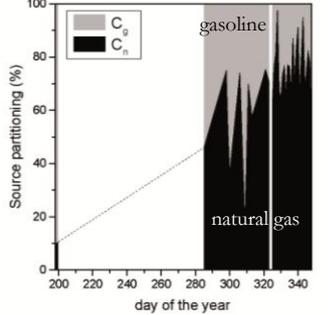
Dati notturni (h 0-5)

- 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)

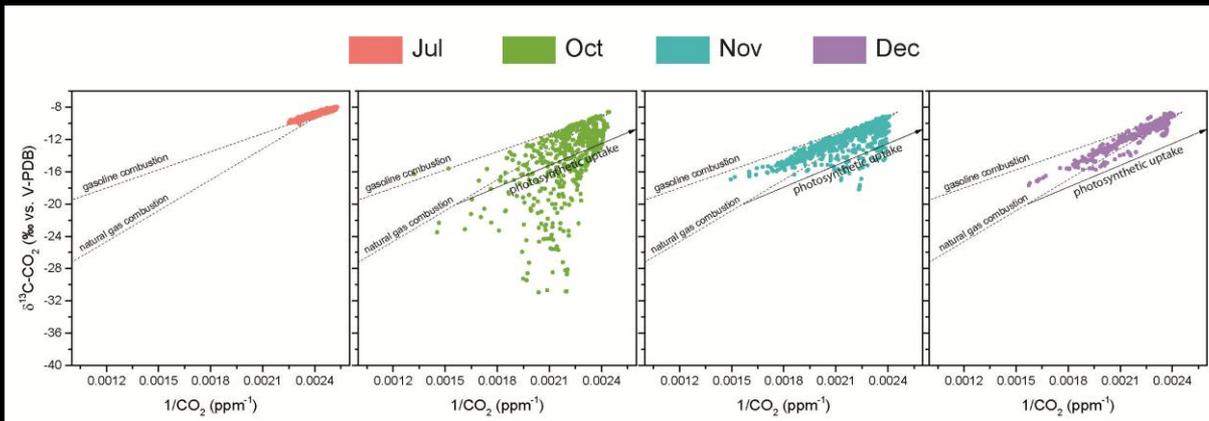


Potenziali sink di CO₂?

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)

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

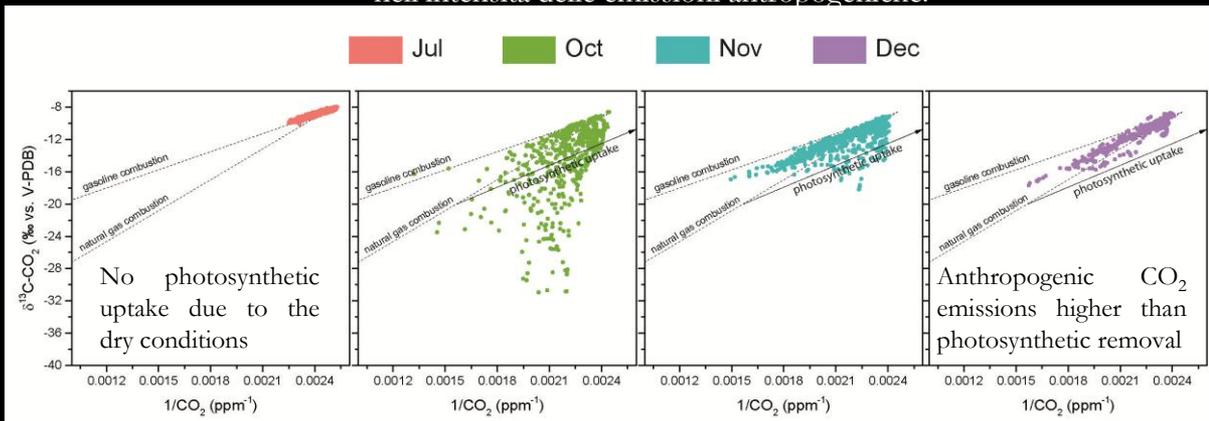


Potenziali sink di CO₂?

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)

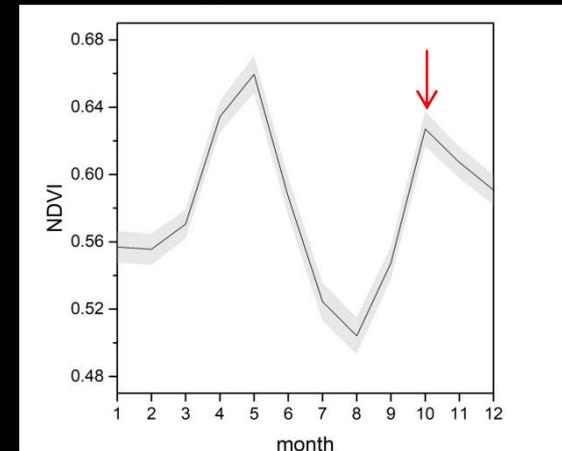
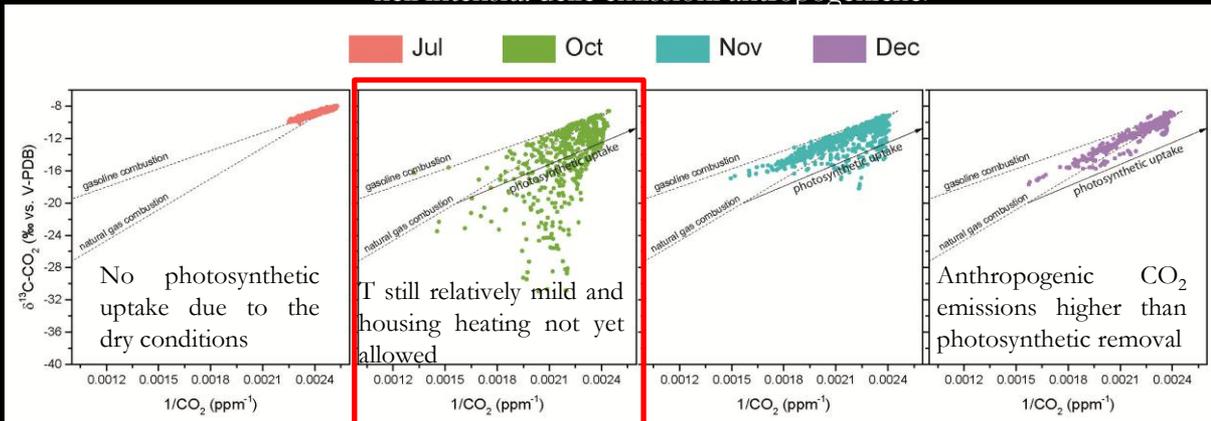


Potenziali sink di CO₂?

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.

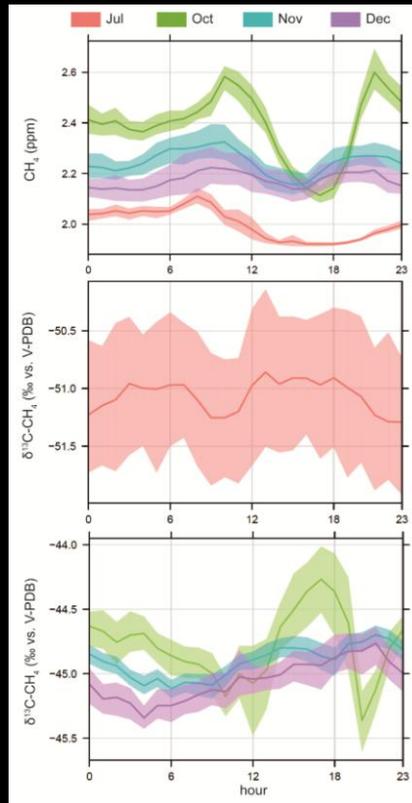
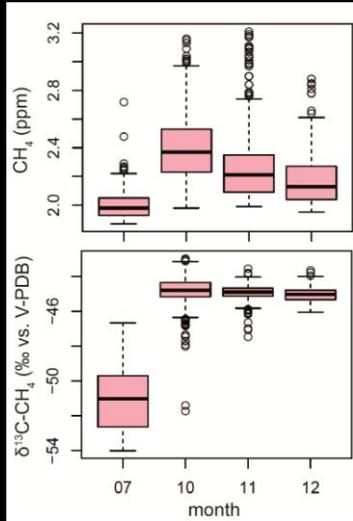
Dati diurni (h 6-18)



Monthly MODIS satellite NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Livelli di CH₄ e sorgenti di emissione

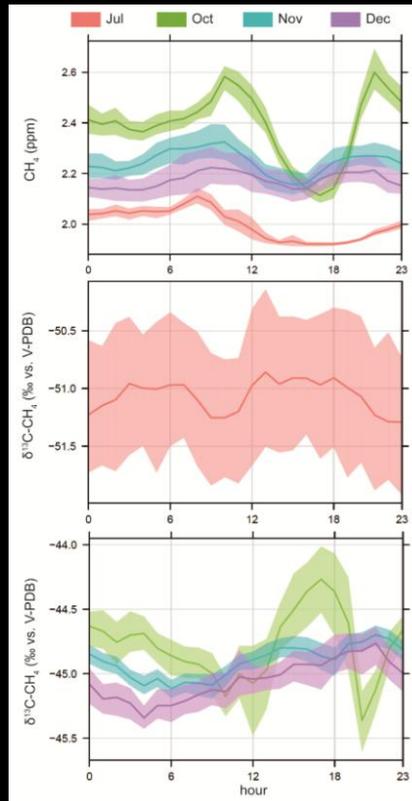
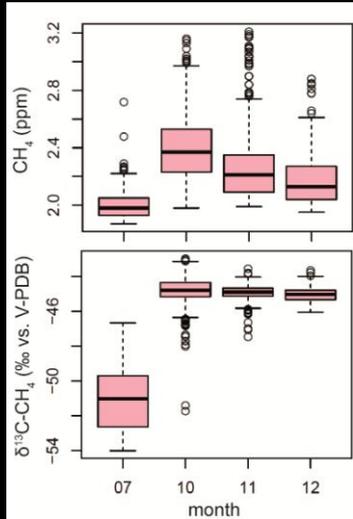
Le medie mensili misurate a Ottobre, Novembre e Dicembre sono 8.5, 20 e 13 % più alte di quelle osservate a Luglio, rispettivamente.



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.



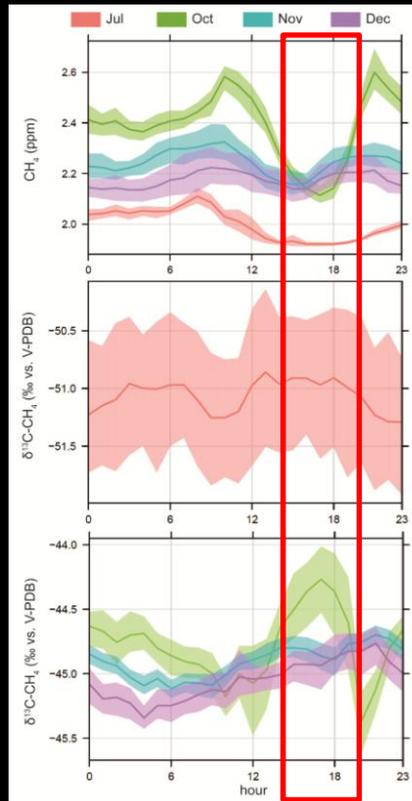
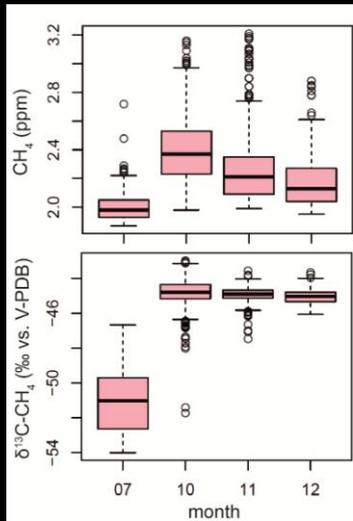
I trend stagionali osservati sia nelle concentrazioni che nei rapporti isotopici del CH₄ indicano variazioni nei contributi relativi da sorgenti di emissione e sink attivi durante l'anno.

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.

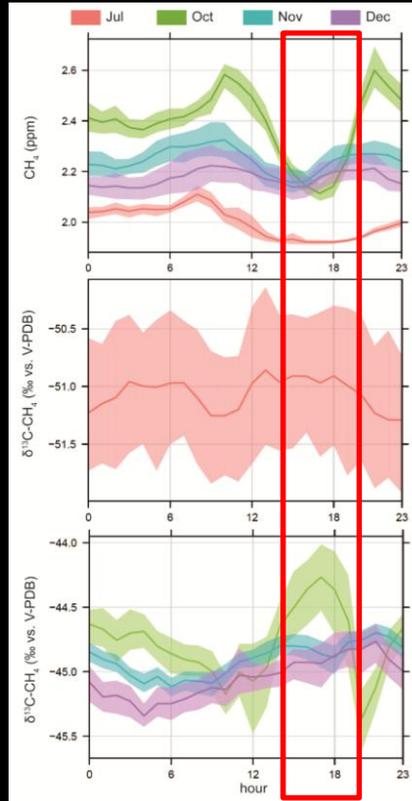
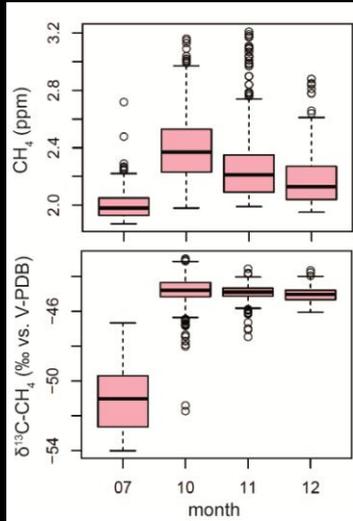
A Luglio, i valori del δ¹³C-CH₄ sono relativamente costanti, indicando l'assenza di sorgenti di emissione locali rilevanti durante il giorno, e oscillano intorno a -51 ‰ vs. V-PDB (valore tipico di sorgenti biogeniche).

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.

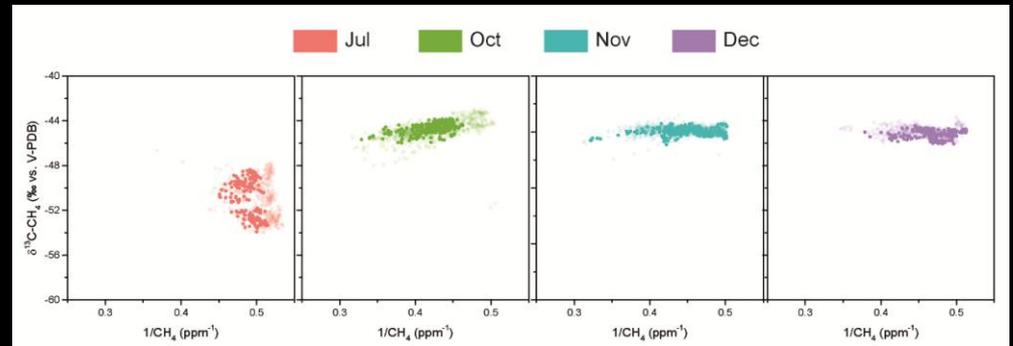
A Ottobre, i valori del δ¹³C-CH₄ appaiono inversamente correlati con le variazioni diurne delle concentrazioni, con rapporti isotopici più pesanti misurati alle 17:00 durante i giorni feriali. **(traffico veicolare)**

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