

Le misure di biossido di carbonio all'osservatorio Jungfraujoch (Alpi Bernesi)

Chiara Uglietti, Michael Schibig, Tesfaye Berhanu, Markus Leuenberger, Ingrid van der Laan-Luijckx, Sander van der Laan, Patrick Sturm, Luca Valentino
 Climate and Environmental Physics Department, University of Bern, Svizzera.
 The Oeschger Centre for Climate Change Research, Bern, Svizzera
 email: ugliettichiara@gmail.com

Nella moderna nomenclatura chimica definita dalla IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) il termine **biossido (o diossido) di carbonio** ha sostituito il termine **anidride carbonica** (per cui in questo articolo si troverà scritto «il CO₂» anziché «la CO₂»).

2. Bilancio energetico del sistema Terra. La radiazione proveniente dal sole viene in parte riflessa (30%) e in parte assorbita (25%) dall'atmosfera. Il restante 45% della radiazione raggiunge la superficie terrestre, e parte di questa viene ri-emessa sotto forma di radiazione infrarossa determinando così l'effetto serra. Si tratta di un fenomeno naturale che - portando la temperatura media planetaria a circa 15 °C, rispetto ai gelidi -18 °C che si avrebbero in assenza di gas serra - permette la vita sulla Terra, tuttavia da un paio di secoli l'utilizzo dei combustibili fossili ne sta determinando un'intensificazione, con conseguente rapido aumento della temperatura e destabilizzazione degli ecosistemi naturali da cui dipendiamo.

Introduzione

«Centocinquanta anni fa, l'uomo ha iniziato un grande ed incontrollato esperimento con il carbonio sul pianeta Terra. Non sappiamo esattamente come l'esperimento andrà a finire, ma cambierà certamente il nostro clima e la nostra vita.»
 GEORGE W. KLING - docente di Ecologia e Biologia evolutiva, Università del Michigan, USA.

Negli ultimi due secoli, nella cosiddetta era industriale, gli esseri umani hanno emesso grandi quantità di biossido di carbonio (CO₂) e di altri gas nell'atmosfera, alterando in tal modo i sistemi naturali e il ciclo globale del carbonio. Le conseguenze di queste attività umane (antropiche) devono essere indagate e comprese in modo da prevedere e prevenire i potenziali cambiamenti nei prossimi decenni, che potrebbero avere conseguenze gravi sulle future generazioni. Oggi la comunità scientifica è sempre più consapevole dei danni delle emissioni in atmosfera e delle loro implicazioni sul sistema Terra e sulla nostra vita ed economia. L'effetto dei gas serra è un fenomeno naturale che consiste nell'assorbimento da parte dell'atmosfera della radiazione infrarossa riemessa dalla superficie terrestre. Infatti la radiazione elettromagnetica emessa dal Sole raggiunge il limite esterno dell'atmosfera terrestre e parte di essa (30%) è riflessa verso lo spazio mentre il restante 70% viene in parte assorbito dall'atmosfera (25%) e in parte (45%) raggiunge la

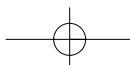


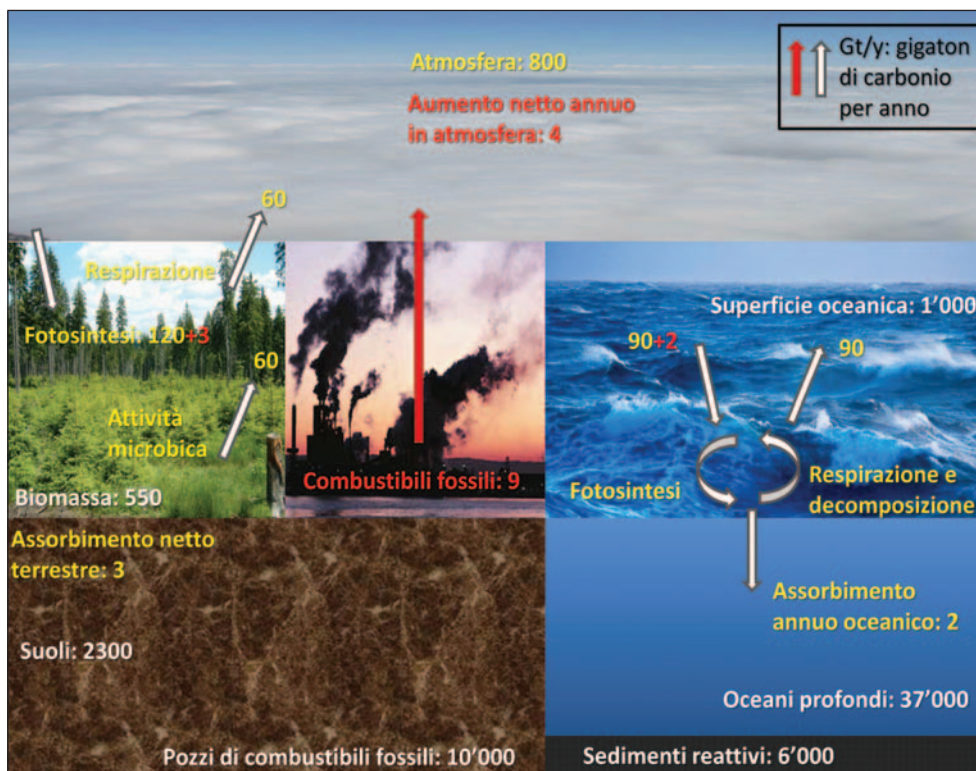
1. Vista della stazione di ricerca dello Jungfraujoch (3580 m), con la cupola dell'osservatorio Sphinx.

superficie terrestre. Quest'ultima si riscalda e riemette calore sotto forma di radiazioni infrarosse, di cui il 30% si disperde e torna nello spazio, ma il 70% è assorbito da alcune specie di gas (Fig. 2). I principali gas che compongono l'atmosfera terrestre sono azoto e ossigeno (N₂ e O₂) che tuttavia non assorbono la radiazione elettromagnetica solare. Al contrario, biossido di carbonio (CO₂), vapore acqueo (H₂O), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O) e ozono (O₃) sono molecole composte da più di due atomi e quando assorbono la radiazione infrarossa riemessa dalla superficie terrestre, queste molecole vibrano. Tale vibrazione consente alle molecole di emettere nuovamente radiazione infraros-

sa, che viene assorbita da altre molecole e così di seguito. Questa **sequenza di assorbimento - emissione è il principio alla base dell'effetto serra, per cui la radiazione infrarossa viene riemessa indietro verso la superficie terrestre, dunque aumentando la temperatura media della Terra.** In effetti, in assenza di atmosfera, la temperatura media della superficie terrestre sarebbe di circa -18 °C, anziché 15 °C. La presenza dei gas serra nell'atmosfera permette quindi la vita sul nostro pianeta, e a destare preoccupazione è piuttosto il **rapido ed eccessivo incremento di questi composti, imputabile alle emissioni antropiche** dovute alla combustione di combustibili fossili, alla deforestazione e ai cambiamenti di uso del suolo.

Il carbonio è uno degli elementi più abbondanti nell'Universo e il principale costituente della materia organica. È presente su tutta la Terra in diversi «serbatoi» (detti anche «pozzi»), nei sedimenti sepolti sotto la crosta terrestre (litosfera) come i combustibili fossili e depositi rocciosi sedimentari. Nella biosfera è l'elemento di base di tutta la materia organica ed ha un ruolo significativo per tutti gli organismi viventi. Negli oceani il carbonio si trova sotto forma di carbonio inorganico disciolto e come carbonato nei sedimenti marini. In atmosfera è invece presente sot-





3. Il ciclo globale del carbonio, con relativi «pozzi» e «sorgenti»: le frecce nere indicano i flussi naturali preindustriali, mentre le frecce rosse definiscono i flussi di carbonio di origine antropica. Le dimensioni sono espresse in miliardi di tonnellate di carbonio (GtC, dove 1 GtC = 10^{15} g C) e i flussi annuali sono espressi in gigatonnellate di carbonio all'anno (GtC/y).

4. Medie ed estremi delle temperature allo Jungfraujoch calcolati per ogni giorno dell'anno sul periodo 1961-2015. La media annua è di $-7,3$ °C, con estremi di $-36,6$ °C (6 marzo 1971) e $12,8$ °C (19 agosto 2012).

5. Mappa dei siti di misura dei gas atmosferici del GAW (Global Atmospheric Watch).

to forma di biossido di carbonio (CO_2), principale gas serra tra quelli artificialmente incrementati dall'uomo, e il cui aumento recente è responsabile di circa il 64% dell'attuale riscaldamento di origine antropica (IPCC, 2013).

Lo scambio di carbonio tra questi serbatoi è noto come il **ciclo globale del carbonio** (Fig. 3). Ogni comparto del sistema Terra può fungere da sorgente (emissione in atmosfera) o da serbatoio di carbonio (captazione dall'atmosfera). Per esempio lo scambio naturale tra la biosfera e l'atmosfera avviene attraverso i processi di fotosintesi e respirazione delle piante, mentre lo scambio tra l'atmosfera e l'oceano avviene mediante dissoluzione del carbonio inorganico nell'acqua e altresì attraverso il processo di fotosintesi-respirazione della flora marina (fitoplancton). La capacità dei serbatoi naturali (biosfera e oceani) di assorbire l'eccesso di CO_2 in atmosfera è uno degli argomenti fondamentali studiati dai ricercatori. Si stima che attualmente circa la metà del CO_2 emesso dalle attività antropiche rimanga in atmosfera mentre la restante parte venga assorbita dai pozzi naturali (JANSSEN *et al.*, 2003, ORR *et al.*, 2001, SABINE *et al.*, 2004). Ci sono tuttavia evidenze che tale capacità di assorbimento stia ormai riducendosi (RAUPACH *et al.*, 2014).

Grazie all'analisi del CO_2 estratto dalle bolle di aria incluse nei ghiacci antartici, è stato possibile ricostruirne l'andamento negli ultimi 800 mila anni (JOUZEL *et al.*, 2007; LUTHI *et al.*, 2008; PETT *et al.*, 1999): si sono verificate ampie fluttuazioni con periodi di bassa concentrazione che corrispondono ai periodi glaciali, mentre con-

centrazioni elevate sono associate alle fasi interglaciali più miti. Dall'ultima glaciazione, terminata tra 18.000 e 14.000 anni fa, le concentrazioni di CO_2 sono cresciute da 200 a circa 280 parti per milio-

ne (ppm) (JOUZEL *et al.*, 2007; LUTHI *et al.*, 2008), ma attualmente i livelli di CO_2 in atmosfera, in ulteriore rapido aumento da 200 anni, ovvero dall'inizio dell'era industriale, sono superiori a **400 ppm**. Pertanto è importante monitorare costantemente nel tempo il CO_2 e gli altri gas presenti in atmosfera poiché la loro osservazione a lungo termine permette di studiare meglio le corrispondenti sorgenti e i pozzi di assorbimento.

La stazione di ricerca dello Jungfraujoch

La stazione di ricerca *High Altitude Research Station Jungfraujoch* ($46^\circ 32' 56''$ N, $7^\circ 59' 17''$ E) si trova sul versante meridionale della cresta rocciosa delle Alpi bernesi, in Svizzera, a un'altitudine di 3580 m (osservatorio *Sphinx*, Fig. 1). È posta su un colle tra le cime della Jungfrau (4158 m) a Ovest e del Mönch (4099 m) a Est. La direzione prevalente del vento è da Nord-Nord-Ovest.

La stazione di ricerca è facilmente raggiungibile tutto l'anno per mezzo del trenino che da Grindelwald o Lauterbrunnen porta turisti e ricercatori allo Jungfraujoch. Le emissioni locali sono generalmente basse, poiché il riscaldamento è elettrico e si tratta di una zona glaciale pressoché disabitata. I dati meteorologici (temperatura, umidità, pressione atmosferica,

