

## Modellistica Ambientale (A.A. 2009/10)

### Riscaldamento Globale

La concentrazione di Anidride Carbonica,  $CO_2$ , è salita dalle 280 ppm (parti per milione) del 1800 alle circa 385 ppm di oggi, prima lentamente poi sempre più velocemente.

Ad ogni livello di concentrazione di  $CO_2$  corrisponde una temperatura di equilibrio<sup>1</sup>. Assumiamo che la temperatura di equilibrio,  $T_e$ , in funzione della concentrazione di  $CO_2$ , abbia la seguente espressione:

$$T_e = T_{preindustriale} + K \times \ln\left(\frac{CO_2}{CO_{2preindustriale}}\right)$$

dove  $K$  è la costante di *forcing radiativo* (vedi l'appendice),  $T_{preindustriale}$  è la temperatura terrestre media fra il 1750 ed il 1800, e  $CO_{2preindustriale}$  è la concentrazione di  $CO_2$  nello stesso periodo.

Assumiamo poi che per un dato *forcing radiativo* la temperatura di equilibrio venga raggiunta in  $m$  anni.

Assumiamo che una molecola di  $CO_2$  in atmosfera abbia una vita media di 100 anni, e che a partire da oggi le emissioni annuali crescano secondo la seguente tabella:

Anno	0	20	40	60	80	100
Emissioni (ppm/anno)	5	5.3	6.2	7.9	9.7	12.7

Costruire un modello che consenta di studiare l'andamento della temperatura sotto diverse ipotesi (scenari), usando i seguenti dati:

- $T_{preindustriale} = 14$  °C
- $CO_{2preindustriale} = 280$  ppm
- $K$  è tale da far sì che ad un raddoppio della concentrazione di  $CO_2$  rispetto al livello preindustriale corrisponda un aumento di 2.5 gradi di temperatura.
- $m = 30$

---

<sup>1</sup>Per semplicità stiamo considerando la  $CO_2$  come unico gas serra.

- Orizzonte temporale: 400 anni

Si considerino i seguenti scenari:

1. A partire dall'anno 100 si stabilizzino le emissioni al valore corrente.
2. A partire dall'anno 100 si riducano progressivamente le emissioni fino a dimezzarle in 50 anni.
3. Nell'anno 100 si dimezzino bruscamente le emissioni e le si lascino a quel livello.
4. Nell'anno 100 si portino bruscamente a zero le emissioni e le si lascino a quel livello.

Per ogni scenario si forniscano i grafici dell'andamento della concentrazione di  $CO_2$  in atmosfera e della temperatura terrestre. Si confrontino poi i risultati ottenuti con quelli che si otterrebbero se fosse  $m=1$ , cioè se il raggiungimento della temperatura di equilibrio fosse immediato.

## Appendice: forcing radiativo

Con il termine forcing radiativo si denota il cambiamento nella radiazione netta media alla sommità della troposfera (cioè alla tropopausa), causato da un cambiamento sia della radiazione solare oppure infrarossa. Un forcing radiativo, quindi, produce una perturbazione del bilancio tra la radiazione entrante e quella uscente dalla tropopausa. Col tempo il sistema climatico reagisce alla perturbazione ristabilendo il bilancio radiativo. Un forcing radiativo positivo tende mediamente a riscaldare la superficie mentre un forcing radiativo negativo tende mediamente a raffreddare la superficie.

Ad esempio un incremento della concentrazione di  $CO_2$  nell'atmosfera conduce ad una riduzione della radiazione infrarossa uscente e ad un forcing radiativo positivo. Per esempio, ad un raddoppio della concentrazione di  $CO_2$  rispetto ai valori del periodo preindustriale (1750, 1800), in assenza di qualsiasi altro cambiamento, il forcing radiativo medio globale sarebbe di circa  $4 \text{ W/m}^2$ . Affinché il bilancio radiativo venga ristabilito, la temperatura

della troposfera e della superficie terrestre deve aumentare, producendo un incremento della radiazione infrarossa uscente.

Nella situazione di raddoppio della concentrazione della CO<sub>2</sub>, quindi, l'aumento della temperatura superficiale all'equilibrio sarebbe appena superiore a 1°C, se altri fattori (quali ad esempio, la formazione e il tipo di nubi, il contenuto di vapore acqueo troposferico e gli aerosol) fossero mantenuti invariati. Considerando anche i feedback interni al sistema climatico, l'IPCC (1990) stimò che ad un raddoppio della concentrazione di CO<sub>2</sub> corrispondesse un aumento della temperatura superficiale media globale all'equilibrio tra 1.5 e 4.5°C. Il dato corrispondente alla migliore stima dell'aumento, fino a quel momento, era di 2.5°C. (fonte: <http://clima.casaccia.enea.it/staff/poana/TesiGio/Giov04.htm>)