



## Contesto: modelli semplici

### Parole chiave :

modellare, modelli semplici, bilancio di radiazione, bilancio del carbonio



### **Come è possibile descrivere i fattori climatici con una formula?**

L'ambiente che ci circonda segue precise leggi fisiche che vengono espresse utilizzando alcune equazioni. La natura è un sistema assai complicato ed è più semplice determinare la quantità di energia necessaria per portare un litro d'acqua da 10 a 11°C piuttosto che descrivere il sistema climatico tramite alcune equazioni. Tuttavia, attraverso l'utilizzo di alcuni modelli semplici è possibile illustrare, a grandi linee, il funzionamento di questo complesso sistema.



### **Esempio1: l'equazione del bilancio del carbonio**

Con l'avvento della rivoluzione industriale si è registrato un notevole incremento nell'utilizzo dei cosiddetti combustibili fossili quali carbone, petrolio e gas naturale sia per la produzione di beni che per il riscaldamento domestico. Uno dei prodotti derivanti dal processo di combustione è l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), uno dei gas serra che viene generalmente misurato in tonnellate di atomi di carbonio, C, immessi nell'atmosfera dall'uomo. Tuttavia, parte del carbonio immesso nell'atmosfera sotto forma di CO<sub>2</sub> viene assorbito dalle piante che ne hanno bisogno per crescere (l'assorbimento è talvolta maggiore rispetto al rilascio che si verifica al momento della morte) mentre un'altra buona parte viene dissolta negli oceani. Questo processo può essere descritto con una equazione semplice del bilancio del carbonio.



Alla base dell'equazione vi sono espressioni termodinamiche come la formula di Clausius-Clapeyron:

$$\frac{dE}{dT} = \frac{q_v E}{R_w T^2}$$

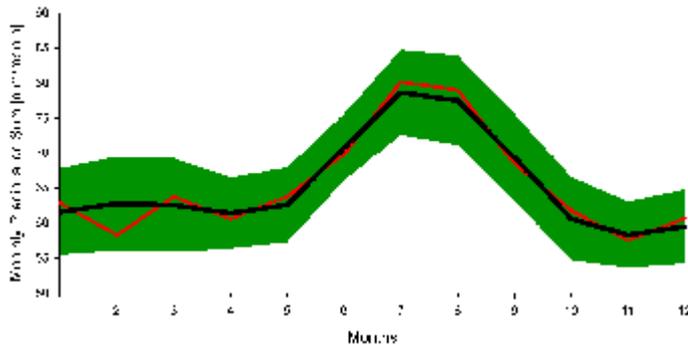
o, più semplicemente, la formula di Magnus:

$$E_w(t) = E_0 \cdot \exp\left(\frac{17,5043 \cdot t}{241,2^\circ\text{C} + t}\right)$$

Non è indispensabile capire la formula in tutti suoi dettagli. Si noti, tuttavia, che si tratta di una relazione esponenziale del tipo riportato di seguito

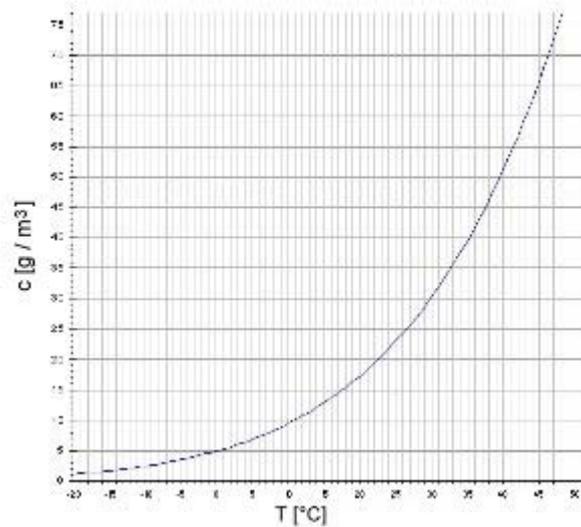
$$E(t) = E_0 \exp f(t)$$

Pertanto il contenuto massimo di acqua presente nell'aria aumenta esponenzialmente con la temperatura.



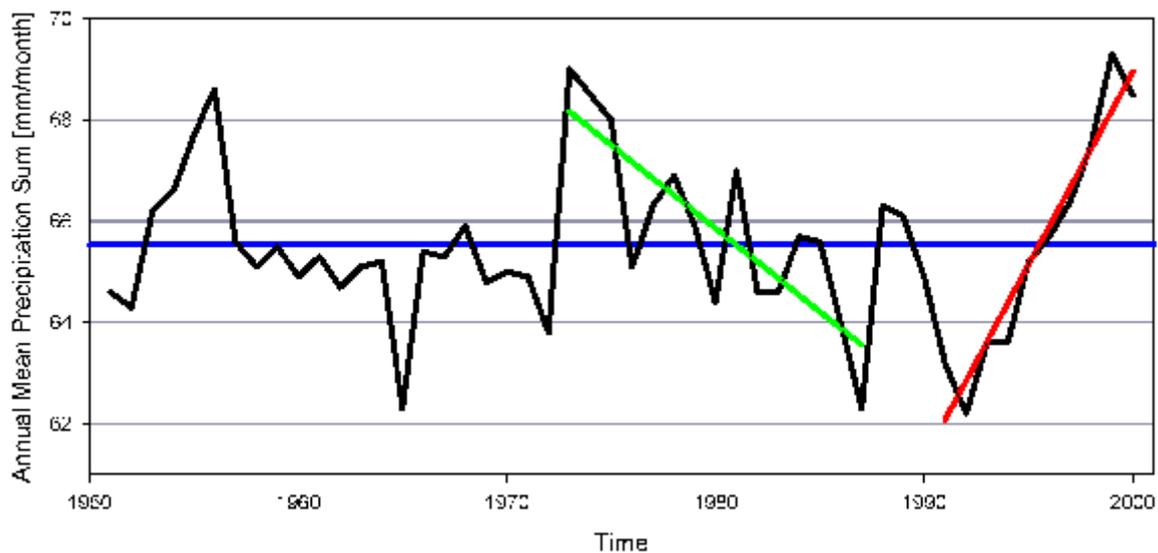
**3. Ciclo medio annuale delle precipitazioni medie globali sulla terraferma in considerazione (linea nera) o meno (linea rossa) della diversa durata del mese. Autori: Jürgen Grieser, Christoph Beck; Servizio meteorologico tedesco.**

Sebbene negli ultimi 50 anni la temperatura media abbia fatto registrare un incremento, da una analisi sulle misure relative alle precipitazioni non si evince alcuna tendenza in merito alle precipitazioni sulla terraferma. Le intense eruzioni vulcaniche contribuiscono alla riduzione della quantità media di precipitazione per oltre un anno. Ciononostante non è possibile trarre alcun tipo di conclusioni sui cambiamenti generali relativi alla temperatura.



**2. La curva di saturazione del vapore acqueo descrive la quantità massima di acqua che può essere trattenuta dall'aria ad una data temperatura (umidità relativa del 100%).**

Se l'energia media vicino alla superficie terrestre aumenta e si verifica una maggiore evaporazione dell'acqua si registrerà anche un aumento delle precipitazioni con una conseguente intensificazione del ciclo dell'acqua. Tuttavia, ciò non è sufficiente per affermare che si assisterà ad un aumento delle piogge sulla terraferma. La maggior evaporazione dell'acqua avviene sopra gli oceani e le precipitazioni sono strettamente legate al sistema eolico globale.



4. Sequenze cronologiche delle precipitazioni medie annuali su base mensile relative alla terraferma (Groenlandia e Antartide escluse). Linea blu: tendenza lineare per il periodo compreso tra il 1951 e il 2000; linea verde: tendenza lineare per il periodo compreso tra il 1973 e il 1987; linea rossa: tendenza lineare per il periodo compreso tra il 1991 e il 2000.

**Autori:** J. Grieser, C. Beck; Servizio meteorologico tedesco.

La porzione analizzata (Groenlandia ed Antartide escluse) costituisce tuttavia solo il 25% della superficie terrestre. E' pertanto possibile prevedere che non sarà compito facile descrivere le conseguenze future di una intensificazione del ciclo globale dell'acqua anche se la formula e la curva riportate sopra sembrano indicare chiaramente la stessa tendenza ad un incremento delle precipitazioni.



### **Esempio 3: un modello semplice per l'energia terrestre**

Il sole fornisce l'energia necessaria al funzionamento del nostro sistema climatico consentendo inoltre alla terra di mantenere una temperatura tale da rendere possibile la vita sul nostro pianeta.

Il sole fornisce energia al nostro pianeta sotto forma di raggi quasi paralleli. Tale energia viene definita costante solare  $L$  ed espressa in potenza per unità di area con un valore pari a circa  $1366 \text{ W/m}^2$ . Se non si verificasse alcun fenomeno di riflessione, ogni metro quadro dell'atmosfera terrestre sarebbe investito da un quarto di questa energia.

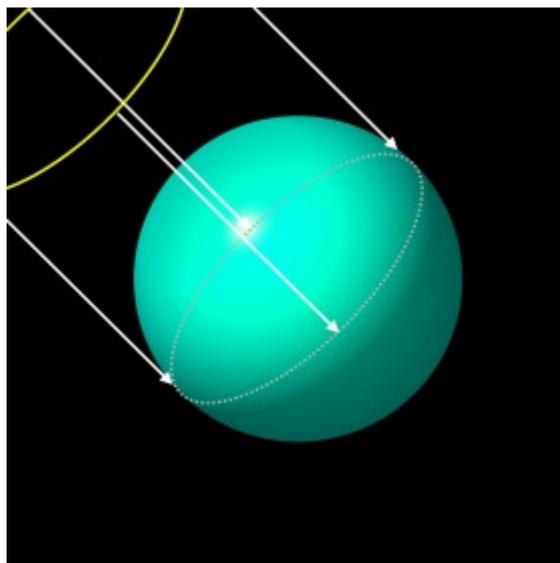
Ma perché proprio un quarto?

La ragione va ricercata nel fatto che l'energia totale non colpisce verticalmente l'intera superficie terrestre ma solo la sezione trasversale della terra. Come è noto, uno degli emisferi terrestri è sempre immerso nell'oscurità della notte e la radiazione solare al di sotto di una bassa angolazione risulta meno intensa. Poiché la sezione trasversale costituisce un quarto della superficie di una sfera l'energia totale che raggiunge la superficie terrestre corrisponde a  $R = 1/4 L = 342 \text{ W/m}^2$ .



5. L'area della superficie terrestre,  $S$ , rappresenta la superficie di una sfera con raggio  $r$ :

$$S = 4 \pi r^2$$



6. Tuttavia, l'area colpita verticalmente dalla radiazione solare rappresenta solo la sezione trasversale della terra,  $D$ , che corrisponde a:

$$D = \pi r^2$$

Una frazione della radiazione solare, tuttavia, non viene assorbita dalla superficie terrestre a causa del fenomeno della riflessione da parte, ad esempio, di nubi, ghiaccio e neve. Tale frazione viene definita albedo terrestre  $A$  e costituisce il 30 % della radiazione solare entrante che corrisponde a:

$$E_{in} = (1-A) \pi r^2 S$$

Se l'energia entrante non si disperdesse nuovamente la temperatura sulla terra tenderebbe ad aumentare in maniera costante. Secondo la legge di Stephan-Boltzmann sull'irraggiamento (per l'irraggiamento del corpo nero) la velocità di dispersione dell'energia da parte della luce infrarossa uscente può essere calcolata come funzione semplice della temperatura:

$$E_{out} = \text{area} \sigma T_e^4 = 4 \pi r^2 \sigma T_e^4$$

Sigma indica la costante di Stefan-Boltzmann mentre  $T_e$  rappresenta la temperatura della superficie terrestre.

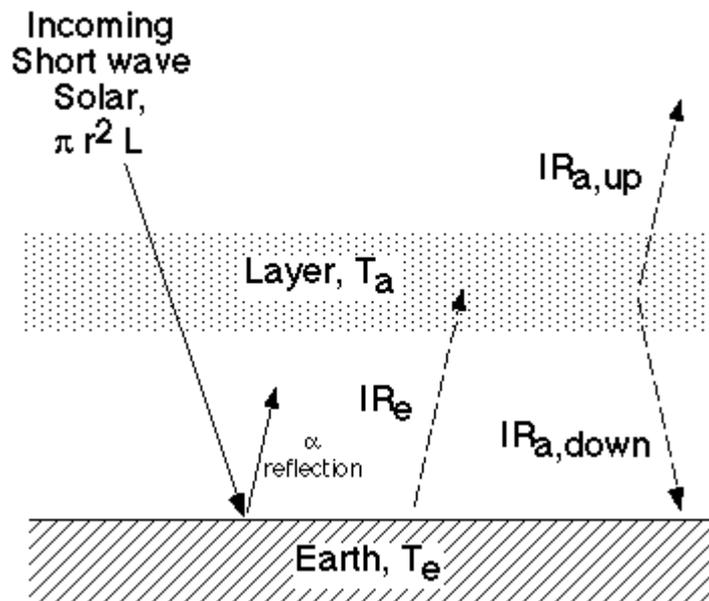
E' pertanto possibile descrivere l'equilibrio utilizzando le seguenti equazioni:

$$E_{in} = E_{out}$$

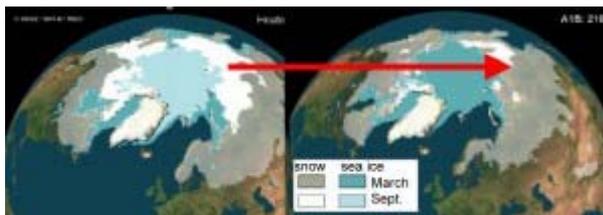
$$\Leftrightarrow (1-A) \pi r^2 L = 4 \pi r^2 \sigma T_e^4$$

$$\Leftrightarrow \frac{(1-A)}{4} L = \sigma T_e^4$$

Questa è la descrizione del bilancio energetico terrestre senza gas serra. Nel caso in cui si prendano in considerazione i gas serra, una frazione della radiazione infrarossa, indicata sul lato destro dell'equazione, viene riemessa nello spazio così come illustrato nella figura riportata a destra. Al contempo, tuttavia, occorre ricordare che anche la temperatura della superficie terrestre tende ad aumentare. Le equazioni si fanno un po' più complesse ma il sistema può essere sempre descritto in modo matematico.



7. Schema semplificato del bilancio di radiazione terrestre. Per un calcolo più dettagliato, consultare il [sito web di David Archer \(Chicago University\)](#) da cui è stato tratto lo schema riportato in figura.



8. Lo scioglimento nelle regioni artiche © MPI Met

Il riscaldamento globale provoca lo scioglimento dei ghiacci nelle regioni polari modificando sia la riflessione della luce solare da parte della terra, una parte dell'albedo,  $A$ , che il bilancio di radiazione del nostro pianeta.

**Autore:**

**Elmar Uherek - Istituto di Chimica Max Planck, Mainz**

**Versione italiana a cura di: Michela Maione, Simonetta De Angelis e Paola Giovannini, Università degli Studi di Urbino**