

# AMBIENTE FISICO E TERRITORIO

IO

*Direttore*

**Sergio PINNA**  
Università degli Studi di Pisa

*Comitato scientifico*

**Carlo DA POZZO**  
Università degli Studi di Pisa

**Jean–Pierre LOZATO–GIOTART**  
Université Sorbonne Nouvelle Paris 3

**Luigi MARIANI**  
Università degli Studi di Milano

**Giuseppe SCANU**  
Università degli Studi di Sassari

## AMBIENTE FISICO E TERRITORIO

La Geografia è la disciplina che studia le relazioni fra uomo e ambiente; essa si propone quindi di osservare e classificare i molteplici fatti e fenomeni — fisici e antropici — che si sviluppano sulla superficie terrestre, per arrivare a un'interpretazione relativa all'organizzazione che le società umane hanno dato, o progettano di dare, al territorio. Questa collana vuole pertanto accogliere testi con contenuti di geografia umana e di geografia fisica, in quanto entrambi indispensabili per realizzare tale analisi interpretativa e poter così spiegare i processi sociali, economici e culturali che caratterizzano il territorio stesso.



Sergio Pinna

**Lineamenti di Climatologia**





Aracne editrice

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

Copyright © MMXVII  
Gioacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

[www.gioacchinoonoratieditore.it](http://www.gioacchinoonoratieditore.it)  
[info@gioacchinoonoratieditore.it](mailto:info@gioacchinoonoratieditore.it)

via Sotto le mura, 54  
00020 Canterano (RM)  
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-0006-6

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: gennaio 2017

## INDICE

INTRODUZIONE .....	11
--------------------	----

### Capitolo I

#### LA RADIAZIONE SOLARE

#### E IL BILANCIO ENERGETICO DELLA TERRA

<i>1. L'energia irradiata dal Sole .....</i>	<i>17</i>
<i>2. La "costante solare" media per unità di superficie terrestre .....</i>	<i>18</i>
<i>3. La radiazione al suolo e l'eliofanìa .....</i>	<i>19</i>
<i>4. Il bilancio energetico della Terra e l'effetto serra .....</i>	<i>22</i>

### Capitolo II

#### LA TEMPERATURA DELL'ARIA

<i>1. Temperatura e scale termometriche .....</i>	<i>27</i>
<i>2. Le misure di temperatura e i relativi dati climatologici .....</i>	<i>28</i>
<i>3. Regime termico ed escursioni .....</i>	<i>29</i>
<i>4. Le variazioni di temperatura in rapporto alla quota .....</i>	<i>33</i>
<i>5. La rappresentazione cartografica delle temperature .....</i>	<i>39</i>

### Capitolo III

#### L'UMIDITÀ DELL'ARIA E LE NUBI

<i>1. La composizione chimica dell'aria .....</i>	<i>41</i>
<i>2. Come si esprime il livello di umidità .....</i>	<i>42</i>
<i>3. Il regime annuo dell'umidità .....</i>	<i>43</i>
<i>4. L'evapotraspirazione .....</i>	<i>44</i>
<i>5. La condensazione del vapore e le nubi .....</i>	<i>50</i>
<i>6. La copertura nuvolosa e i suoi effetti termici globali .....</i>	<i>53</i>

### Capitolo IV

#### LE PRECIPITAZIONI

<i>1. Le varie tipologie di precipitazioni .....</i>	<i>57</i>
<i>2. La pluviometria e i relativi caratteri osservati .....</i>	<i>60</i>
<i>3. Il regime annuo delle precipitazioni .....</i>	<i>66</i>
<i>4. I processi genetici delle precipitazioni .....</i>	<i>69</i>

5. Cenni di nivometria . . . . .	70
----------------------------------	----

## Capitolo V

### LA PRESSIONE ATMOSFERICA E IL VENTO

1. La pressione atmosferica e le cause delle sue variazioni . . . . .	73
2. La pressione nelle sue rappresentazioni cartografiche . . . . .	75
3. Il vento e le grandezze anemometriche . . . . .	80
4. Il regime anemometrico annuo . . . . .	82
5. Gradiente barico e intensità del vento . . . . .	83
6. Le tipologie di vento . . . . .	86

## Capitolo VI

### GLI EFFETTI DEI PRINCIPALI FATTORI CLIMATICI

1. I fattori cosmici . . . . .	89
2. Il contrasto termico fra mari e terre emerse . . . . .	96
3. La presenza e l'orientazione delle catene montuose . . . . .	106
4. Le correnti oceaniche . . . . .	110

## Capitolo VII

### I LINEAMENTI DEL CLIMA A LIVELLO GLOBALE

1. La circolazione atmosferica generale . . . . .	113
2. La distribuzione geografica delle temperature . . . . .	124
3. La distribuzione geografica delle precipitazioni . . . . .	130

## Capitolo VIII

### CLASSIFICARE IL CLIMA

1. La dimensione geografica dell'analisi . . . . .	135
2. I criteri per la classificazione dei climi . . . . .	137
3. La classificazione di Köppen . . . . .	138
4. La classificazione di Trewartha . . . . .	147
5. I due metodi a confronto . . . . .	150

## Capitolo IX

### ALCUNE NOTE SUL CLIMA DELL'ITALIA

1. I fattori generali che regolano il clima sul territorio italiano . . . . .	153
---	-----



2. <i>Le temperature</i> . . . . .	154
3. <i>L'eliofania e la radiazione globale</i> . . . . .	161
4. <i>Le precipitazioni</i> . . . . .	166
5. <i>Qualche possibile classificazione</i> . . . . .	173

## Capitolo X

### LE VARIAZIONI TEMPORALI DEL CLIMA

1. <i>Alcune fondamentali questioni generali</i> . . . . .	187
2. <i>I metodi di indagine</i> . . . . .	193
3. <i>Qualche cenno sulle variazioni del clima nel Fanerozoico</i> . . . . .	205
4. <i>I cicli glaciali del Quaternario recente</i> . . . . .	208
5. <i>La climatologia storica: gli ultimi due millenni</i> . . . . .	219
6. <i>Dal 1860 al XXI secolo: il Global Warming</i> . . . . .	230
7. <i>Alcune oscillazioni periodiche osservate nel sistema climatico</i> . . . . .	236

## Capitolo XI

### CENNI SULLA CLIMATOLOGIA DEI GRANDI CICLONI E DEI TORNADO

1. <i>I grandi Cicloni Tropicali (ed extratropicali)</i> . . . . .	245
2. <i>I Tornado</i> . . . . .	259

BIBLIOGRAFIA . . . . .	275
------------------------	-----



## INTRODUZIONE

Il presente volume si propone di essere un manuale utile ad acquisire le nozioni di base di climatologia, per corsi universitari di contenuti geografici e ambientali.

In questa introduzione saranno chiariti alcuni concetti generali, indispensabili per un'adeguata comprensione degli argomenti specifici trattati nei successivi capitoli.

### *I concetti di “Tempo (meteorologico)” e di “Clima”*

Nel linguaggio comune, Tempo e Clima sono due termini che vengono spesso usati come sinonimi; tale consuetudine però non è affatto corretta. Invero, da un punto di vista scientifico, è importante che i loro significati siano nettamente distinti:

- *Tempo* – è lo stato dell'atmosfera in un determinato momento e in un dato luogo; è definito quindi dall'insieme degli elementi meteorologici (temperatura, precipitazioni, nuvolosità, vento, radiazione solare, pressione e umidità), valutati in un certo istante, mediante diverse grandezze misurabili. Il tempo è perciò in continua evoluzione, come ben possiamo renderci conto osservando che da un'ora all'altra l'entità dei singoli elementi presenta variazioni anche rilevanti.
- *Clima* – è il quadro delle condizioni atmosferiche caratteristiche di una determinata parte della superficie terrestre, quadro che scaturisce da un'analisi statistica completa delle serie storiche di dati meteorologici. Tale quadro sarà allora definito in base: a) valori medi delle grandezze per un certo intervallo temporale; b) variabilità associata alle medie calcolate; c) caratteri di stagionalità; d) valori estremi misurati; e) andamenti tendenziali nel lungo periodo.

L'individuazione del clima si fonda quindi sul calcolo di medie pluriennali, anche se non può certo limitarsi solo a questo, visto che pure certi aspetti della variabilità rivestono una notevole importanza.

In ogni modo, la differenza fra i concetti di clima e di tempo appare ben marcata, per cui deve essere evitata ogni confusione nel loro utilizzo; in proposito si può far presente che l'abitudine ormai diffusa in sede di previsioni del tempo di pronunciare frasi del tipo di «domani sull'Italia centrale avremo un clima mite» è ovviamente erronea, visto che il clima è una caratteristica dei luoghi che, almeno in un ambito temporale non troppo lungo, possiamo ritenere costante.

Il quadro climatico di una regione viene di norma ottenuto – seguendo le indicazioni dell'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (WMO) – mediante lo studio di serie storiche trentennali. Il periodo di trent'anni appare invero adeguato perché consente di ottenere delle medie significative dal punto di vista statistico e al contempo poco influenzate da eventuali cambiamenti climatici. In effetti, anche il clima tende nel tempo a mutare, cosicché se, ad esempio, calcolassimo una temperatura media degli ultimi due secoli, questa potrebbe risultare meno indicativa quale dato di riferimento della situazione attuale, rispetto a quanto lo sarebbe una media del trentennio appena trascorso.

### *Elementi e Fattori del clima*

Gli “Elementi” che compongono il clima sono ovviamente gli stessi che abbiamo già citato per il tempo meteorologico: temperatura, precipitazioni, nuvolosità, vento, radiazione solare, pressione atmosferica e umidità dell'aria. Nel caso del tempo questi elementi sono considerati nel loro continuo evolversi, mentre in tema di clima si cerca di definire quali aspetti caratteristici si abbiano, nel corso dell'anno, nelle diverse aree del Pianeta.

Per “Fattori del clima”, si intendono invece tutte quelle cause generali che, agendo sui vari elementi di cui sopra, danno origine ai diversi tipi di clima; i fattori climatici sono in genere ricondotti a due categorie principali:

- *Fattori Cosmici* – Sono quelli che influiscono sulla ripartizione dell'energia solare nella superficie terrestre: a) il moto di rivoluzione della Terra; b) l'eccentricità dell'orbita; c) il moto di rotazione; d) la forma (quasi) sferica della Terra e le conseguenti

differenze, con la latitudine, nell'angolo di incidenza dei raggi solari.

- *Fattori Geografici* – Sono tutti quelli che – connessi con i caratteri essenziali, fisici e biologici, della superficie terrestre – risultano in grado di agire in modo tale da poter modificare le ipotetiche condizioni dovute alla sola azione delle cause cosmiche. Se infatti la superficie del Pianeta fosse perfettamente uniforme, i climi dipenderebbero esclusivamente dalla latitudine, cosa che però sappiamo essere ben lontana dalla realtà. I fattori geografici sono: a) la distribuzione di mari e terre emerse; b) la distanza dal mare; c) le correnti oceaniche; d) la posizione geografica rispetto alla circolazione atmosferica; e) la disposizione delle aree continentali; f) la morfologia e l'orientazione delle catene montuose; g) le differenze altimetriche; h) l'esposizione topografica; i) la presenza di laghi; l) i caratteri del suolo; m) la vegetazione; n) le azioni antropiche.

### *Meteorologia e Climatologia*

Si tratta di due discipline affini che ricadono nel campo delle scienze dell'atmosfera, ma che differiscono per gli obiettivi della loro ricerca e sovente anche per il tipo di approccio al quale fanno ricorso; sinteticamente si possono così distinguere:

- *Meteorologia* – si occupa dello studio dei fenomeni atmosferici che sono responsabili dell'evoluzione del tempo; la finalità principale è quella di elaborare le previsioni del tempo, cioè di capire come esso cambierà nelle ore o nei giorni successivi. Si appoggia a studi sperimentali, mediante osservazioni e misurazioni ottenute con svariate modalità, ma si fonda soprattutto su metodologie teoriche che, facendo ampio uso del linguaggio formale della matematica, si propongono di arrivare ad una modellistica della fisica dell'atmosfera.
- *Climatologia* – ha come oggetto di studio il clima, sia dal punto di vista di una definizione e classificazione delle sue diverse tipologie, sia in relazione ai suoi cambiamenti che si sono sviluppati su scale temporali che da qualche decennio possono arrivare alle centinaia di milioni di anni. È decisamente multidisciplinare

visti gli stretti legami con molte altre branche delle scienze; tra gli altri sono infatti utilissimi i contributi derivanti da: geologia, idrologia, geofisica, glaciologia, oceanografia, vulcanologia, chimica, botanica, astrofisica ed anche dalle scienze storiche.

In modo estremamente essenziale, si può in sostanza considerare il clima di una determinata località come la sintesi delle distribuzioni di probabilità di tutti gli elementi meteorologici misurati in tale luogo. La Climatologia è quindi una “meteorologia statistica”, ma non può davvero essere limitata a questa definizione, per cui va giustamente considerata, con una visione molto più ampia, come una “meteorologia geografica”, una scienza cioè dedicata allo studio del clima, non come obiettivo fine a se stesso, ma con costante riferimento al quadro complessivo del globo terrestre, onde comprendere – alle varie scale spaziali – tutte le interrelazioni che il clima ha con l’ambiente.

Il clima esercita infatti un’influenza fondamentale sul nostro Pianeta – sia verso il sistema fisico, sia verso la sfera biologica – determinando in primis il modellamento della superficie terrestre e la distribuzione geografica delle forme vegetali; ne deriva perciò che esso condiziona anche la diffusione delle specie animali e, fatto ancor più importante, la presenza e le attività umane. È chiaro allora come la climatologia debba essere la scienza che si occupa di delineare i climi, di spiegare le diverse cause che ne determinano l’esistenza, di classificarli e di porli quindi in relazione con i vari tipi di ambienti, naturali e/o antropizzati che siano.

Inoltre, il clima non è un carattere da ritenersi immutabile nel tempo, ma, al contrario, deve essere visto come qualcosa in costante evoluzione, per cui fra i temi principali trattati dalla climatologia rientrano a pieno titolo anche le variazioni climatiche. Queste si possono studiare rispetto ad intervalli temporali diversissimi, che dalla durata delle ere geologiche vanno alle poche decine di anni; è in questo campo che la climatologia mostra maggiormente la sua tendenza ad un approccio multidisciplinare, utilizzando i contributi delle discipline che poco prima sono state citate.

In definitiva, rientrano quindi fra le ricerche di carattere climatologico sia quelle con finalità sistematiche, sia quelle di genere storico-evolutivo; in relazione a queste ultime, è consuetudine distinguere i campi della “Paleoclimatologia”, che si occupa dell’ambiente climati-

co in epoche molto lontane, e della “Climatologia Storica” che si rivolge agli ultimi 2-3 millenni, utilizzando nelle indagini anche le informazioni derivanti da documentazioni scritte, in merito a fatti e vicende delle comunità umane.

Va poi precisato che, in tempi relativamente recenti, anche nella climatologia ha preso corpo la modellistica, cioè il ricorso all'utilizzazione di modelli quantitativi atti a simulare le interazioni tra le componenti fondamentali del sistema climatico (atmosfera, oceani, superficie terrestre, biosfera, criosfera ecc.). Tali modelli vengono utilizzati per svariati scopi che vanno dallo studio delle dinamiche del clima alle proiezioni sugli eventuali mutamenti futuri, nell'ambito della complessa discussione in merito agli effetti prodotti dai gas serra di origine antropica.

Per rappresentare la distribuzione geografica dei fenomeni oggetto delle loro ricerche, meteorologia e climatologia ricorrono frequentemente alla costruzione di carte tematiche. Molte di esse si basano sul metodo delle isolinee (linee luogo dei punti in cui una data grandezza presenta lo stesso valore), ma con differenze, come ovvio, evidenti fra le due discipline, in quanto per la prima sono mirate a definire una situazione istantanea, mentre per la seconda vogliono evidenziare un quadro medio o comunque un carattere emerso dall'analisi statistica delle serie di dati. Nella figura 1 sono riportati due esempi di carte tematiche, una meteorologica ed una climatica. La prima riguarda la situazione barica in occasione dell'arrivo sulle coste inglesi di un'intensa perturbazione il giorno 26 ottobre 2013; la seconda esprime le variazioni spaziali della piovosità annua in Australia, sulla base delle medie 1900-2005.

In calce alla presente introduzione, è utile una precisazione per maggiore chiarezza nei confronti del lettore: salvo eventuali indicazioni ad hoc, tutti i dati che saranno forniti nelle pagine successive – in forma di numeri o tramite traduzione grafica – derivano dal sito web del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica militare ([www.meteoam.it](http://www.meteoam.it)) per il territorio italiano e da quello informativo del WMO ([www.worldweather.org](http://www.worldweather.org)) per le altre regioni del Globo.

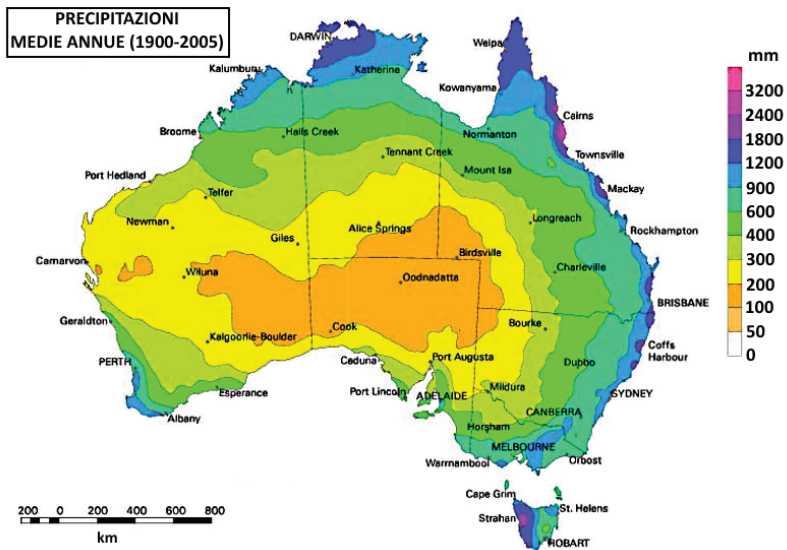
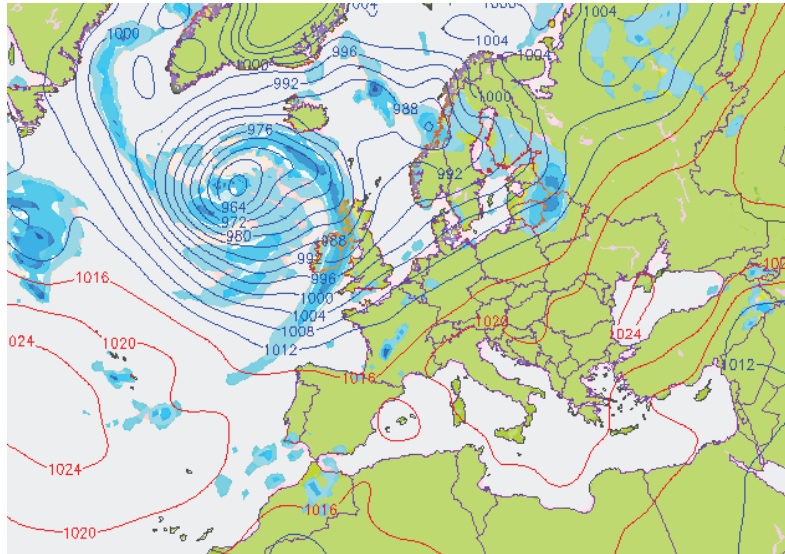


Fig. 1 – In alto: un esempio di carta meteorologica; vi sono rappresentate, per le ore 12 del 26/10/2013, la pressione al livello del mare (mediante linee dette isobare) e le aree interessate da precipitazioni. In basso: un esempio di carta climatica; vi è raffigurata la distribuzione media, su 106 anni, delle piogge annue in Australia, mediante isolinee (dette isoiete) e con l'uso di un'appropriata scala cromatica.



## Capitolo I

# LA RADIAZIONE SOLARE E IL BILANCIO ENERGETICO DELLA TERRA

### 1. L'energia irradiata dal Sole

Dall'interno del Sole, in ragione delle reazioni nucleari che vi hanno luogo, viene rilasciata una grande quantità di energia che si irradia nello spazio; tale irraggiamento viene definito valutando la quantità di energia che fluisce per unità di superficie ed è quindi espresso in  $\text{J/m}^2$  (solitamente in  $\text{MJ/m}^2$ ). Se rapportiamo l'irraggiamento al tempo, otteniamo la potenza unitaria, che in questo campo viene chiamata *irradianza*; l'unità di misura di quest'ultima è perciò il  $\text{W/m}^2$ .

Onde poter calcolare l'irradianza solare, è necessario anzitutto ricordare la fondamentale legge di Stefan-Boltzmann, che fornisce la potenza unitaria  $Q$  irradiata da un corpo nero in funzione della sua temperatura assoluta, in gradi Kelvin:

$$Q = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{dove } \sigma \text{ è una costante pari a } 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$$

L'applicazione di tale formula ci consente allora di valutare per la superficie esterna del Sole – ove la temperatura media è di circa 5780 K – una potenza di  $6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ . Quella che arriva sul nostro Pianeta (più correttamente al margine esterno della sua atmosfera) è solo una minima parte di tale potenza, visto che l'intensità unitaria decresce in funzione del quadrato della distanza dal punto di emissione; considerando allora il centro del Sole quale luogo di origine del fenomeno, l'irradianza sulla Terra sarà ottenuta moltiplicando il suddetto valore di  $6,3 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$  per il quadrato del rapporto tra il raggio solare medio (circa  $7,0 \cdot 10^5 \text{ km}$ ) e la distanza media Terra-Sole (circa  $1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$ ): il valore che si ricava è così di circa  $1366 \text{ W/m}^2$  (Fig. 1.1).

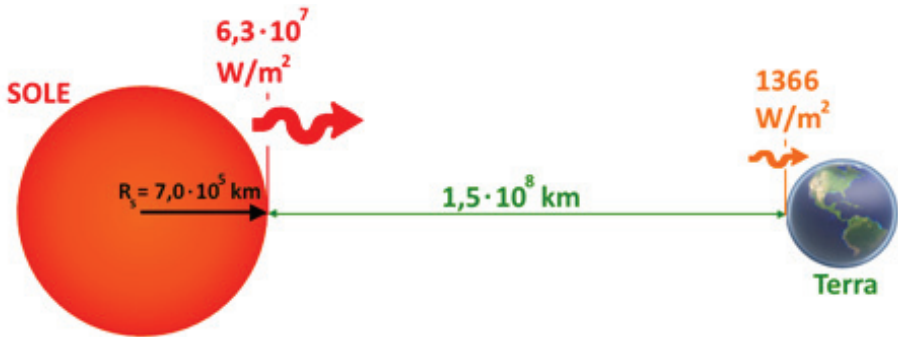


Fig. 1.1 – L’irradianza sulla superficie del Sole e al margine esterno dell’atmosfera terrestre.

## 2. La “costante solare” media per unità di superficie terrestre

È importante considerare la potenza di  $1366 \text{ W/m}^2$  come relativa ad una sezione circolare di area pari a  $\pi R^2$  (dove  $R$  è il raggio terrestre). Tale quantità di energia si distribuisce però sull’intera superficie terrestre, la cui estensione è di  $4\pi R^2$ , cioè il quadruplo di quella della sezione di arrivo dei raggi solari; l’irradianza unitaria media è perciò di  $342 \text{ W/m}^2$ . Questo quantitativo è considerato in prima istanza come invariabile ed è infatti indicato col termine di “costante solare”.

Invero delle, seppur moderate, oscillazioni nell’irradianza in arrivo si verificano per due ragioni differenti.

- L’ellitticità dell’orbita comporta che la Terra muti continuamente la sua distanza dal Sole, con conseguenti variazioni nella potenza radiante da esso ricevuta. Nel punto più lontano (Afelio, tra il 3 e il 7 di luglio, circa 152 milioni di km) si scende a  $330 \text{ W/m}^2$ , mentre in quello più vicino (Perielio, tra il 2 e il 5 gennaio, circa 147 milioni di km) si arriva a  $354 \text{ W/m}^2$ : in pratica una differenza del 7% fra il minimo e il massimo.
- Variazioni di ancor minore entità sono dovute ai cicli di attività solare. Si riscontra infatti una correlazione diretta tra numero di macchie ed energia emessa dal Sole. Nella figura 1.2 è riportato il raffronto di queste due grandezze, per gli anni dal 1979 al 2003: il loro andamento appare molto concordante, con escursioni però dell’irradianza decisamente contenute.

### 3. La radiazione al suolo e l'eliofania

I valori di irradianza di cui si è discusso sono quelli all'esterno dell'atmosfera; al suolo, infatti, la potenza in arrivo è sempre inferiore per tre diversi motivi: a) l'azione di filtro esercitata dall'atmosfera; b) l'eventuale presenza di una copertura nuvolosa; c) la forma (quasi sferica) della Terra.

Una parte dell'energia viene riflessa verso lo spazio da atmosfera e nubi, mentre un'altra parte è da esse intercettata. La superficie terrestre riceve una quota in forma di *radiazione diretta* (che può essere nulla in caso di consistente copertura nuvolosa) ed una come *radiazione diffusa* dalle nuvole e dall'atmosfera; la somma di queste due componenti energetiche costituisce la *radiazione globale* al suolo.

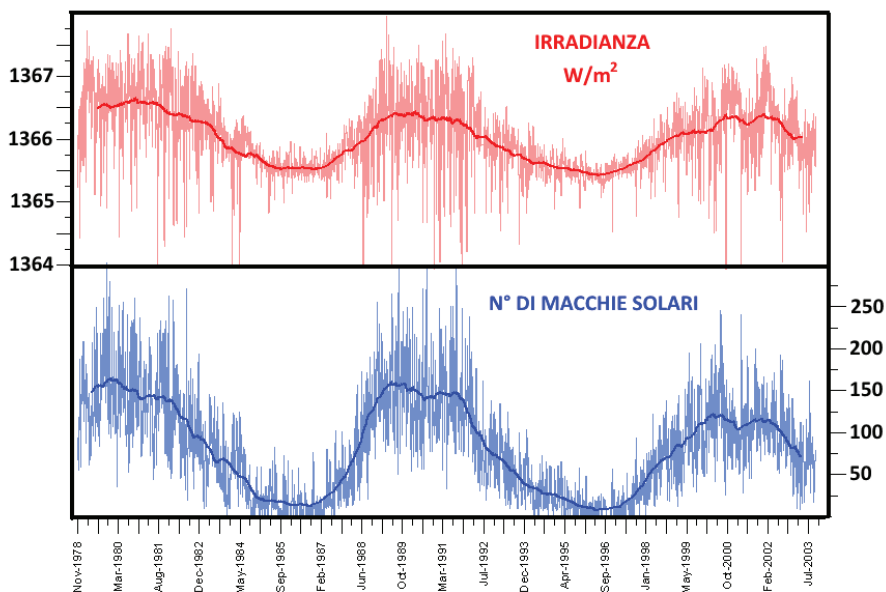


Fig. 1.2 – L'andamento giornaliero dell'irradianza solare in rapporto a quello del numero di macchie, nel periodo 1979-2003; le linee a tratto grosso rappresentano le medie mobili sull'intervallo di un anno. Si noti la stretta correlazione fra le due grandezze, ma anche come, in un intero ciclo undecennale delle macchie, la potenza vari solo di circa  $1,3 \text{ W/m}^2$ .

Fonte: NOAA

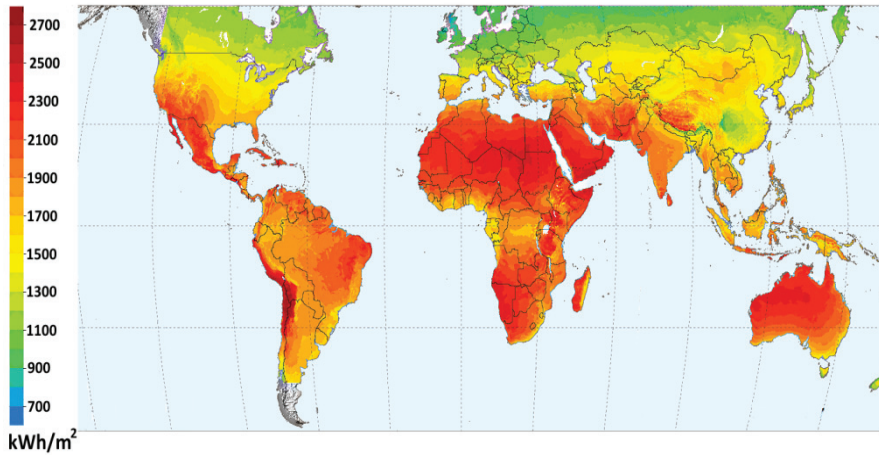


Fig. 1.3 – La radiazione globale in arrivo sulla superficie terrestre; sono rappresentati i valori medi annui, espressi in  $\text{kWh/m}^2$ .

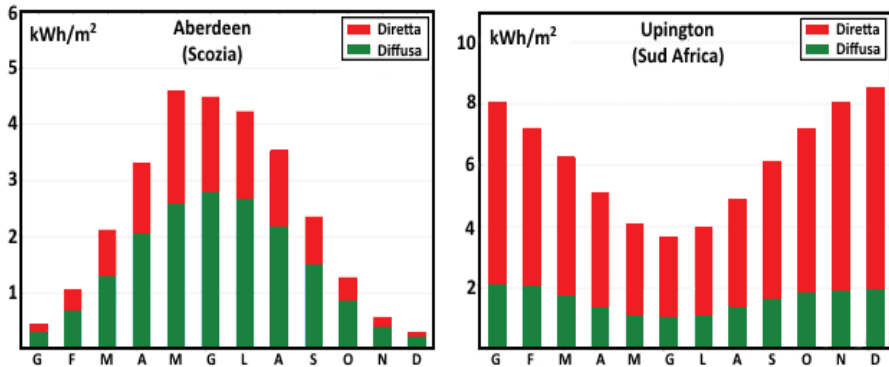


Fig. 1.4 – Istogrammi delle medie mensili della radiazione globale giornaliera, con la sua ripartizione nelle componenti diretta e diffusa. Si nota che ad Upington i valori totali sono circa doppi di quelli di Aberdeen; questo dipende sia dalla minore latitudine, sia dalle condizioni di cielo frequentemente privo di nuvolosità. Tale situazione determina anche, per la località sudafricana, una prevalenza della radiazione diretta su quella diffusa; ad Aberdeen il rapporto è invece invertito.

Fonte: valori tratti da <http://solargis.info>