

L'UNIVERSO

GEOLOGIA FLUVIALE
UN ANTICO RAMO
DEL BISARNO

CORSI D'ACQUA
IL DELTA DEL PO
NEL SETTECENTO

NATURA
LA FORMA
DELLE NUVOLE

VIAGGI
GALAPAGOS:
UN MONDO INCANTATO
2° PARTE

CARTOGRAFIA STORICA
LA SCOPERTA
DELL'AMERICA

MAPPE E LIBRI
L'AFGHANISTAN
NELLE
CONSERVATORIE
DELL'IGM

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
FIRENZE

ALBANO MARCARINI - ROBERTO ROVELLI

ATLANTE ITALIANO DELLE FERROVIE IN DISUSO

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
FIRENZE

€ 18,00

L'Atlante nazionale del patrimonio ferroviario ha visto la luce dopo un intenso lavoro di documentazione, grazie alla collaborazione dell'Istituto Geografico Militare di Firenze.

È la prima opera completa riguardante lo stato del nostro patrimonio ferroviario statale e in concessione:

- 60 schede di linee, complete di testi, immagini e cartografia IGM a scala 1:100000
- Indicazione dello stato di conservazione.
- Un repertorio completo dal 1871 al 2017.
- Cinque saggi introduttivi

Un volume di grande formato di 288 pagine con centinaia di immagini e grandi carte a colori. Disponibile come supplemento alla rivista "L'Universo" dell'Istituto Geografico Militare o in vendita al prezzo di € 18,00

Editoriale

Con la pubblicazione di questo fascicolo, lascio la Direzione responsabile di *L'Universo*, dopo tre anni di attività, caratterizzati da un periodo di difficile congiuntura, nella quale alcune riviste scientifiche sono state costrette a sospendere le loro pubblicazioni e altre a rinunciare all'edizione cartacea, a favore dell'eterea pubblicazione mediante il web.

Sono stati tre anni di sfida durante i quali la rivista è riuscita a garantire l'azzeramento del ritardo nella pubblicazione, l'avvio di una sperimentazione che ampliasse l'offerta editoriale con la distribuzione anche della versione digitale del periodico, in affiancamento alla tradizionale edizione cartacea, il rinnovo della veste grafica, l'ottimizzazione della periodicità della pubblicazione, con una frequenza che oggi si mostra certamente più adatta a un periodico specialistico, l'ampliamento del portafoglio editoriale, con l'introduzione di nuovi volumi monografici, sia quali supplementi alla rivista, sia quali volumi autonomi delle collane editate dall'IGM.

Proprio a quest'ultimo riguardo, va inoltre segnalato il felice esito della recente realizzazione dell'*Atlante delle ferrovie in disuso*, sia per la pregevole realizzazione del volume sia per il più che positivo riscontro di pubblico, che ha richiesto, già dopo pochi mesi dalla distribuzione, una nuova ristampa.

Orgoglioso di quanto è stato possibile realizzare in questo triennio, ringrazio il Comandante dell'IGM, Gen.D. Pietro Tornabene, per il sostegno dato alle attività e ai progetti della rivista, senza il quale nessun traguardo sarebbe stato possibile raggiungere.

Formulo al prof. Andrea Cantile, che sta per assumere la Direzione del periodico, i migliori auspici per un futuro colmo di nuovi traguardi, certo che la rivista continuerà il suo percorso culturale, migliorando sempre più il servizio che essa offre alla diffusione della cultura geografica e cartografica nel nostro Paese.

A tutto lo staff, che con grande dedizione garantisce continuità e qualità alle varie operazioni di redazione, stampa e distribuzione della rivista, esprimo la mia più profonda gratitudine per la professionalità e l'impegno profusi.

Ai lettori e ai collaboratori va infine il mio sentito ringraziamento e il più accorato invito a continuare a dare fiducia al nostro periodico e a seguirne con la passione di sempre le numerose attività.

IL DIRETTORE RESPONSABILE
Gen.B. Giuseppe POCCIA

L'UNIVERSO



Rivista insignita di medaglia d'oro dalla Società Geografica Italiana nel 1999
e del
«Premio Giorgio Valussi» dell'Associazione Italiana Insegnanti di Geografia nel 2002



Ottobre - Novembre - Dicembre 2018 n° 4 ANNO XCVIII



598

Il Bisarno del Pian di Ripoli tra storia e geologia

MARCO BASTOGI

Un dissesto statico fornisce l'occasione per confrontare i nuovi dati, prodotti da una specifica indagine, con le analisi precedenti e con le notizie storico-geografiche fornite dal grande Leonardo da Vinci.



620

Alle foci del Po di Goro: intestatura della Bocca Nuova, 1734

MARCO TUMIATTI

Questo territorio, di singolare interesse ambientale, di recente entrato a far parte del sito Biosfera Mab Unesco, presenta particolari aspetti idraulici e progettuali.



636

La Forma delle Nuvole

EMILIO BORCHI, RENZO MACII

È qui esposta una dettagliata descrizione della formazione delle nubi e della loro tipologia, completata anche con adeguate immagini.



654

Galapagos, un mondo incantato - 2ª parte

GRAZIA BENVENUTI

Il viaggio fotografico nell'Arcipelago delle Galapagos prosegue, tra spiagge, mare e fauna che lo abita.



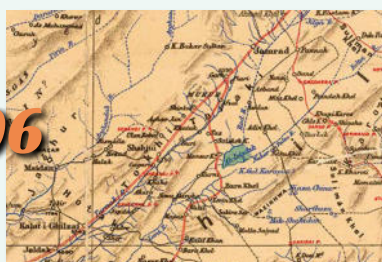
680

La scoperta del Nuovo Continente nella cartografia storica

PIERO CARPANI

Dalla fine dell'Ottocento, si assiste a una ripresa degli studi e degli approfondimenti relativi a nuovi documenti sulla scoperta dell'America.

706



L'Afghanistan nelle Conservatorie dell'Istituto Geografico Militare

ANDREA CANTILE, LEONARDO ROMBAI

Facendo seguito ai lavori del Convegno internazionale "Firenze-Herat" svoltosi a Firenze nel 2015, viene qui esposta una esauriente rassegna cartografica e libraria sull'Afghanistan, disponibile presso l'IGM.

Primo piano
Grandi Viaggi

Notizie

Libri

Strumenti

Metrologia e filatelia

Prossimamente

750

754

762

769

772

785

797

In copertina:

*El Chato,
tartarughe
terrestri in
libertà
(foto di
Marco Pace).*



Rivista del Ministero della Difesa

Editore Difesa Servizi S.p.A.

Direttore responsabile

Gen. B. Giuseppe POCCIA

Redazione e grafica

Magg. Fabrizio Marconi

Funz. Alessandra Cristofari

Ass. Anita Panci

Ass. Giovanni Casini

Ass. Adele Monaco

Ass. Laura Guidi

Aus. Maria Letizia Compagnone

Aus. Mauro Marrani

Direzione e redazione

Istituto Geografico Militare,

Via Cesare Battisti, 10

50122 Firenze

055/2732242-233-614

GEOGRA08@igmi.191.it

Stampa

Fotolito: Officine IGM - Firenze

approvato per la stampa

in gennaio 2019

Ufficio abbonamenti

Punto vendita dell'IGM: Viale Strozzi, 10 - 50129 Firenze

055/2732768 – fax 055/489867

casezcomm@geomil.esercito.difesa.it

Tipi di abbonamento

Cartaceo: € 25,00; Digitale: € 15; Cumulativo: € 30

Ridotto: € 19,00

(per sodalizi scientifici e loro soci, studenti, scuole medie superiori, università, personale in servizio del Ministero della Difesa).

Estero: € 30,00

Il prezzo è comprensivo dei quattro fascicoli più allegati e supplementi.

Cartaceo: versamento on-line, oppure sul conto corrente postale n. 315507 intestato a:

Istituto Geografico Militare, Amministrazione,

Via C. Battisti, 10, 50122 – Firenze (specificare l'anno).

Digitale: solo pagamento on-line tramite carta di credito

su www.igmi.org

Pubblicazione trimestrale

registrata presso il Tribunale di Firenze

(n. 32 del 15 luglio 1948).

TUTTI I DIRITTI DI RIPRODUZIONE RISERVATI

ISSN:0042-049

La meteorologia di Padre Guido Alfani

Padre Guido Alfani non fu soltanto un eminente studioso di sismologia tecnica, che si impose per quaranta anni all'attenzione pubblica in un periodo sismico particolarmente travagliato.

Nel 1920 controllò tutti i dati meteorologici in suo possesso per essere sicuro che gli strumenti in uso da oltre un secolo presso l'Osservatorio Ximeniano non avessero portato errori sistematici, se le unità di misura erano coerenti se le leggi degli errori erano state applicate correttamente. Inoltre tra il 1915 ed il 1925 tentò di utilizzare nuove tecnologie riguardo alle misure della radiazione solare, all'epoca argomento prediletto della ricerca termodinamica.



Frontispizio di *Un secolo di osservazioni meteoriche* di p. Guido Alfani, Firenze, Barbèra, 1920.

La radiazione solare e la sua misura

Il Sole e la radiazione solare

In senso strettamente astronomico il Sole è una stella di media grandezza, centro di un piccolo sistema solare in una zona periferica della galassia Via Lattea.

Il Sole ha il diametro circa 109 volte quello della Terra, ossia di 1,35 milioni di km.

Il suo volume è 1,25 milioni di volte quello della terra.

La temperatura alla superficie del Sole è 6000 K. La densità media è circa quella dell'acqua. La sua distanza dalla Terra è 150 milioni di km. La luce, che viaggia a 300 000 km/s, impiega circa 8 minuti a propagarsi dal Sole alla Terra.

La radiazione solare rappresenta praticamente l'unica fonte di energia per l'atmosfera terrestre. Il Sole irradia nello spazio una quantità di energia media che si valuta in 5.2×10^{24} kilocalorie al minuto. Questa energia è prodotta dalla

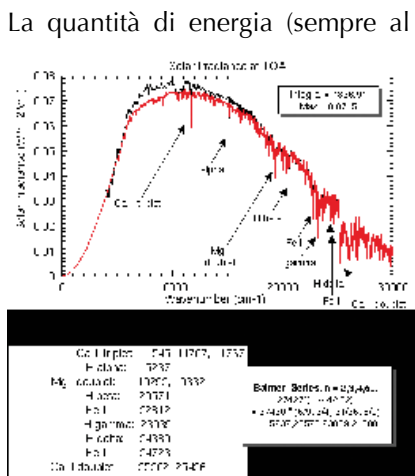
reazione nucleare di fusione a temperature altissime in cui l'idrogeno è trasformato in elio¹.

La Terra riceve solo un mezzo miliardesimo di tutta l'energia irraggiata, cioè quasi esattamente 2 piccole calorie per cm² al minuto. La maggior parte della

¹ Si ritiene che il processo di base sia la fusione di quattro nuclei di idrogeno in un nucleo di elio. Tale processo ha luogo con una diminuzione di massa $\Delta m = 4 m_{\text{H}} - m_{\text{He}} = 0.0484 \cdot 10^{-27}$ kg, con liberazione di energia pari a $\Delta W = \Delta m \cdot c^2 = 27.3$ Mev. Poiché la potenza della sorgente solare (cioè la luminosità del sole) è pari a $3.96 \cdot 10^{26}$ W, per generarla occorrono circa $9 \cdot 10^{37}$ processi di fusione al secondo, corrispondenti a un consumo di massa di idrogeno pari a circa $6 \cdot 10^{11}$ kg/s ovvero a $2 \cdot 10^{19}$ kg all'anno. Poiché la massa del sole è $2 \cdot 10^{30}$ kg, per dimezzarla occorrono 50 miliardi di anni.

luce visibile è irraggiata dalla fotosfera, il guscio più esterno del Sole. In questa regione i gas incandescenti hanno la profondità di circa 300 km, mentre la loro pressione è 1/10 di quella alla superficie della Terra. La cromosfera si trova sopra la fotosfera; la sua luminescenza è scarsamente visibile nonostante il fatto che questi gas luminescano. La cromosfera si può osservare durante un'eclisse solare, quando la luminescenza della fotosfera è temporaneamente nascosta, mentre la cromosfera appare come un sottile anello rossastro attorno al sole. La cromosfera è larga poche migliaia di km. Sopra la cromosfera si trova la corona, profonda oltre un milione di chilometri e composta di gas ionizzati. Le particelle più esterne della corona, principalmente ioni, riescono a sfuggire al campo della gravità del Sole e formano il vento solare che in parte si perde nello spazio e in parte si muove verso i pianeti. Un aumento di vento solare, interagendo con il campo magnetico della Terra, dà origine alle aurore boreali e australi. Il Sole ha un'attività che varia con un ciclo di undici anni, che viene osservato tramite le macchie solari. Durante l'attività delle fiaccole solari, enormi quantità di energia sotto forma di radiazione ultravioletta, raggi X e particelle atomiche intensificano le aurore e il vento solare. Vi sono stati molti tentativi di collegare l'attività solare al clima della Terra, senza però raggiungere conclusioni definitive.

L'andamento della radiazione emessa dal Sole in funzione della lunghezza d'onda è quasi simile a quella di un corpo nero alla temperatura di 6000 K. La struttura della curva di radiazione del corpo nero è definita dalla legge di Rayleigh-Jeans-Planck. Per il momento ci riferiamo solo all'energia radiante che arriva al di fuori dell'atmosfera. Circa l'8% della radiazione emessa dal Sole è nella regione dell'ultravioletto, il 46% nel visibile e ancora il 46% nell'infrarosso. Lo spettro della radiazione solare al livello dell'atmosfera terrestre è riportato nella figura in basso.



Spettro della radiazione solare alle soglie dell'atmosfera (fonte wikimedia).

proviene in un minuto dal Sole su una superficie di 1 cm², posta perpendicolarmente alla direzione di propagazione della radiazione solare, è pari a circa 2 cal /cm² min o anche circa 1,4 kW/m².

Questa quantità prende il nome di costante solare. Variazioni della distanza del Sole dalla Terra a causa dell'ellitticità dell'orbita terrestre fanno variare il valore soprascritto della costante solare di qualche percento.

Poiché la radiazione arriva sulla Terra secondo una sezione massima S di essa, durante una giornata di 1440 minuti, l'energia totale che arriva sulla Terra nell'arco di 24 ore si ripartisce sulla superficie totale equivalente della Terra, che è 2S; pertanto il valore medio di calorie per cm² e per giorno è

$$S \times 1440 / 2S = 720$$

Questa quantità prende il nome di Langley al giorno (Ly/d). È evidente che, se si vuol conoscere la quantità totale di energia che ogni singolo luogo riceve durante il giorno, è necessario conoscere oltre alla latitudine del luogo e del Sole (in quel luogo ed in quel giorno) anche la durata del tempo che intercorre tra il sorgere il tramontare del Sole. Questi valori sono contenuti nelle Effemeridi astronomiche.

Sinteticamente si possono fare alcune osservazioni:

- nelle zone polari la durata del periodo di illuminazione compensa la minore intensità della radiazione dovuta alla modesta altezza del Sole sull'orizzonte. Nel periodo dei due corrispondenti solstizi estivi il polo nord ed il polo sud ricevono oltre 1100 Ly/d, ossia una quantità di energia che l'equatore non riceve neppure durante gli equinozi;
- alle medie latitudini boreali (45° parallelo) la quantità di energia ricevuta al giorno nel solstizio d'estate è maggiore di quella ricevuta all'equatore, proprio per la maggiore durata del giorno, che supera le 13 ore. Nel solstizio invernale il valore scende a circa 300 Ly/d.
- all'equatore, dove la durata del giorno è costante, le variazioni di energia ricevuta sono determinate dalle variazioni di altezza del Sole. Si hanno oscillazioni assai ridotte nel corso dell'anno tra 820 e 900 Ly/d.

Questi dati numerici sono ovviamente puramente teorici in quanto presuppongono l'assenza dell'atmosfera. In realtà l'energia che raggiunge le varie fasce di latitudine è assai minore poiché l'atmosfera non si comporta come un corpo trasparente. Inoltre il coefficiente di trasparenza non è uguale per tutte le radiazioni.

La legge di Rayleigh-Jeans-Planck

Qualsiasi corpo che si trovi a un'assegnata temperatura T emette radiazione elettromagnetica. Lo spettro di questa radiazione appare continuo e si osserva sperimentalmente che all'aumentare di T aumenta l'intensità della radiazione emessa e cresce (diminuisce) il valor medio delle frequenze ν (delle lunghezze d'onda λ) contenute nello spettro. L'emissione della radiazione si caratterizza con il



John William Strutt Rayleigh; al centro: James Jeans; a destra: Max Planck (fonte wikimedia).

potere emissivo specifico $\epsilon(\lambda, T)$, ossia l'energia emessa per unità di superficie e per unità di tempo nell'intervallo unitario di lunghezza d'onda. Oltre all'emissione ogni corpo si caratterizza per il fatto che assorbe una parte dell'energia della radiazione termica che lo colpisce. Il coefficiente di assorbimento specifico $a(\lambda, T)$ è definito come la percentuale di energia assorbita per unità di superficie e per unità di tempo nell'intervallo unitario di lunghezza d'onda. Una proprietà fondamentale derivabile dai principi della termodinamica, nota come Legge di Kirchhoff, afferma che il rapporto tra potere emissivo specifico e coefficiente di assorbimento specifico, per qualsiasi assegnata coppia di valori della temperatura del corpo e della lunghezza d'onda della radiazione, è una funzione universale $F(\lambda, T)$ indipendente dal corpo:

$$\epsilon(\lambda, T) / a(\lambda, T) = F(\lambda, T)$$

Si definisce corpo nero un corpo con coefficiente di assorbimento specifico uguale a 1 per qualsiasi valore di λ e di T ; un corpo nero perciò assorbe completamente qualsiasi radiazione che lo colpisca. Segue allora per un corpo nero stesso:

$$E(\lambda, T) = F(\lambda, T)$$

dove si è indicato con $E(\lambda, T)$, il potere emissivo specifico del corpo nero. Noto il potere emissivo specifico del corpo nero è noto anche il potere emissivo specifico di ogni altro corpo del quale si conosca il coefficiente di assorbimento specifico:

$$\epsilon(\lambda, T) = a(\lambda, T) E(\lambda, T)$$

Poiché $a(\lambda, T) < 1$, segue che $\epsilon(\lambda, T) < E(\lambda, T)$. Inoltre se $\epsilon(\lambda, T)$ è diverso da zero, anche $a(\lambda, T)$ deve essere diverso da zero, quindi un corpo è in grado di assorbire tutte le radiazioni che in determinate condizioni è capace di emettere.

Verso la fine del XIX secolo la correlazione tra temperatura e distribuzione di frequenze dell'energia raggianti (cioè la rappresentazione di $E(\lambda, T)$ in funzione di λ) divenne oggetto di numerose ricerche che in gergo vengono classificate come lo studio dello spettro del corpo nero.

Sperimentalmente si era osservato:

- il potere emissivo specifico integrale del corpo nero è proporzionale alla quarta potenza della temperatura del corpo (Legge di Stefan – Boltzmann)

$$E = \int E(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4$$

dove $\sigma = 5.6705 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ è detta costante di Stefan;

- la lunghezza d'onda λ_{\max} corrispondente al massimo della curva del potere emissivo specifico $E(\lambda, T)$ è inversamente proporzionale alla temperatura

$$\lambda_{\max} T = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ m K}$$

(prima Legge di Wien)

Al crescere della temperatura aumenta l'emissione (Legge di Stefan-Boltzmann) e il massimo di $E(\lambda, T)$ si sposta verso le lunghezze d'onda minori;

- L'ordinata del massimo della curva di $E(\lambda, T)$ è proporzionale alla quinta potenza della temperatura assoluta

$$E(\lambda, T) = a T^5$$

con $a = 1.287 \cdot 10^{-16} \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-5}$ (seconda Legge di Wien).

Per quanto riuscisse a spiegarne la dipendenza globale dalla temperatura, l'elettromagnetismo classico non era però in grado di render conto nei dettagli dello spettro di emissione del corpo nero, se non per quella porzione che riguarda le grandi lunghezze d'onda. Il calcolo, eseguito da Rayleigh e Jeans, mostrava il suo completo fallimento (noto come catastrofe dell'ultravioletto) alle lunghezze d'onda più piccole.

Il 14 dicembre 1900 Max Karl Ernst Planck presentò alla riunione della Società Tedesca di Fisica di Berlino i risultati della sua analisi del potere emissivo specifico del corpo nero. La formula ottenuta dallo scienziato tedesco spiegava esattamente lo spettro con un'ipotesi originale: a ogni frequenza della radiazione viene associato un oscillatore armonico che vibra con la stessa frequenza, ma la cui energia può assumere solo valori discreti, multipli di una quantità elementare di energia proporzionale alla frequenza della radiazione attraverso il fattore:

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

noto adesso come costante universale di Planck.

In formula matematica la Legge di Planck afferma che la densità di energia spettrale della radiazione di corpo nero alla temperatura assoluta T è data da:

$$u_\nu(T) = 8 \pi h \nu^3 / \{c^3 [\exp(h \nu / k_B T) - 1]\}$$

dove k_B è la costante di Boltzmann.

Poiché i fotoni associati all'energia $h \nu$ si muovono isotropicamente, la densità di energia relativa al gruppo dei fotoni che si muovono entro l'angolo solido infinitesimo $\Delta \Omega$ è $u_\nu(T) \Delta \Omega / (4 \pi)$.

Equilibrio termodinamico locale

È possibile mostrare che la funzione di Planck, che qui riscriviamo,

$$B_\nu(T) = 2 h \nu^3 / [c^2 (\exp\{h \nu / k_B T\} - 1)]$$

rappresenta la radianza spettrale, cioè la potenza per unità di superficie, per unità di angolo solido e per intervallo di unità di frequenza per radiazione di corpo nero a temperatura T .



Ludwig Eduard
Boltzmann
(Wikimedia Commons).

L'ordinaria derivazione della funzione di Planck si applica a una cavità isoterma che contiene radiazione ma non contiene materia. D'altra parte la meccanica statistica mostra che i livelli energetici di un sistema materiale (per esempio un gas) in equilibrio termico a temperatura T , saranno popolati secondo la distribuzione di Boltzmann, quando viene trascurata la radiazione. In altre parole, i numeri n_1 e n_2 di molecole in stati di energia E_1 e E_2 e con degenerazioni rispettivamente g_1 e g_2 , stanno nel rapporto assegnato con la distribuzione di Boltzmann

$$(n_1 / n_2) = (g_1 / g_2) \exp [-(E_1 - E_2) / k_B T]$$

Nel caso di un gas, questo rapporto di equilibrio vien mantenuto dagli urti tra le molecole del gas stesso.

Se la materia e la radiazione si entrambe contenute nella cavità isoterma e se l'interazione tra materia e radiazione è debole sufficientemente, allora in equilibrio termodinamico la radiazione continua a rispettare la Legge di Planck e la materia continua a obbedire alla Legge di Boltzmann.

Gli effetti dell'atmosfera sulla radiazione in arrivo dal Sole

L'argomento della radiazione atmosferica riguarda il trasferimento di energia nell'atmosfera terrestre da parte dei fotoni o, in forma equivalente, da parte di onde elettromagnetiche.

Nell'atmosfera terrestre i fotoni interessati si raggruppano ovviamente in due gruppi: a) i fotoni emessi dal Sole (fotoni solari o di piccola lunghezza d'onda): essi hanno lunghezze d'onda corrispondenti a radiazioni ultraviolette, visibili e infrarosso vicino comprese tra $0.1 \mu\text{m}$ e $4 \mu\text{m}$.

b) I fotoni termici, emessi dall'atmosfera e dalla superficie terrestre, hanno lunghezze d'onda corrispondenti a radiazioni di infrarosso termico e infrarosso lontano comprese tra 4μ e $100 \mu\text{m}$.

Questi due intervalli di lunghezza d'onda rappresentano regioni spettrali significative dello spettro di emissione del corpo nero alla temperatura di 6000 K (la temperatura della fotosfera del Sole) e di circa 288 K (la temperatura media della superficie della Terra) rispettivamente.

Per comprendere gli effetti della radiazione atmosferica è necessario studiare l'interazione tra fotoni e gas atmosferici. Un modo in cui i fotoni solari possono venire distrutti è l'interazione con le molecole ad assegnate frequenze discrete, corrispondendo ogni frequenza ν alla transizione orbitale di un elettrone da un assegnato livello a un livello energetico più alto secondo la formula $\Delta E = h \nu$, dove ΔE è la differenza di energia dei due livelli e h è la costante di Planck. Il livello energetico più alto è un livello eccitato con un tempo di vita medio finito, e l'energia di eccitazione può venir perduta in due modi.

Tre processi atmosferici modificano la radiazione solare destinata alla terra: tali processi agiscono sulla radiazione nella sua interazione con i gas e le particelle sospese. Il processo di diffusione (*scattering*) avviene quando piccole particelle e molecole di gas (molecole di aria, di vapor d'acqua, gocce di acqua) diffondono la radiazione solare incidente in tutte le direzioni senza variarne la lunghezza.

Una quantità significativa di radiazione di piccola lunghezza d'onda è rinviata nello spazio (circa il 6%), mentre il 20% della radiazione incidente raggiunge la Terra come radiazione diffusa. Il processo di scattering dipende da due fattori: la lunghezza d'onda della radiazione incidente e le dimensioni della particella o della molecola del gas. L'intensità dello scattering è proporzionale al reciproco della quarta potenza della lunghezza d'onda (Legge di Rayleigh). Lo scattering è favorito per particelle di dimensioni di circa 0.5 microns, come si trovano di preferenza nell'aria (in realtà per dimensioni minori di 1/10 della lunghezza d'onda). Il risultato più spettacolare della Legge di Rayleigh è che il cielo si vede blu in una giornata serena e rosso al sorgere e al tramontare del sole. Il cielo appare blu poiché le lunghezze d'onda del blu (più piccole) sono maggiormente diffuse rispetto a quelle del rosso (più grandi). Se non ci fosse lo scattering di Rayleigh il cielo apparirebbe nero. Il sole al mattino appare rosso poiché la maggior parte della radiazione blu è diffusa al di fuori del fascio diretto di radiazione.

Lo scattering da particelle di dimensioni maggiori di 25 volte la lunghezza d'onda è indipendente dalla lunghezza d'onda. Ne risulta che la luce diffusa dalle gocce d'acqua, dalle nubi e dalle grosse particelle è prevalentemente bianca. Alcuni gas dell'atmosfera godono della proprietà di assorbire la radiazione incidente.

L'assorbimento è definito come un processo in cui la radiazione è assorbita e l'energia elettromagnetica associata è trasformata in energia interna della molecola. Questo eccesso di energia interna acquisita permette alla molecola di emettere una sua propria radiazione (di lunghezza d'onda maggiore) oppure riesce a spezzare la molecola stessa. La radiazione emessa è diretta in ogni direzione, di modo che una parte dell'energia incidente viene perduta nello spazio. Gas interessati a questo processo sono l'ozono, il vapor d'acqua, l'anidride carbonica e l'ossigeno. L'assorbimento dell'ozono ha luogo nell'atmosfera ad altezze superiori a 40 km e interessa la regione ultravioletta dello spettro, dove è così intenso che solo una piccola parte di radiazione con lunghezza d'onda minore di 0.3 micrometri raggiunge la Terra. Circa il 3% della radiazione solare è assorbito in questo modo. A livelli più bassi dell'atmosfera il 14% della radiazione solare viene assorbito dal vapor d'acqua, principalmente nella regione infrarossa dello spettro.

Le nubi assorbono molto poco e ciò spiega perché non evaporano alla luce del Sole. L'effetto delle nuvole sulla radiazione è di scattering e di riflessione. L'ultimo processo nell'atmosfera che modifica la radiazione solare è la riflessione che rimanda indietro la radiazione stessa. La riflettività delle nuvole va dal 40 al 90%.

La radiazione solare che raggiunge la Terra senza essere modificata dai processi atmosferici è chiamata radiazione solare diretta, quella che raggiunge la terra dopo essere stata sottoposta a processi di scattering è la radiazione solare diffusa. Come nell'atmosfera, parte della radiazione (diretta e diffusa) che arriva sulla Terra è rimandata indietro per riflessione.

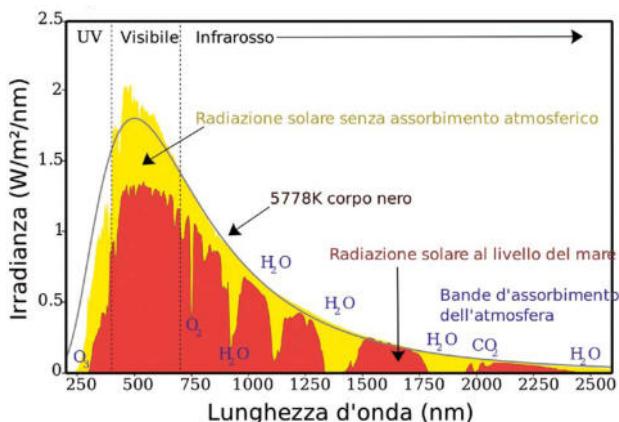
La riflettività o albedo della superficie della Terra varia con i tipi di materiali che la ricoprono. Per esempio la neve fresca riflette fino al 95%, la sabbia secca dal 35 al 45%, la vegetazione dal 5 al 20%. L'albedo media della Terra e dell'atmosfera è di circa il 30% della radiazione incidente dal Sole. Di questa quantità il 4% proviene dalla Terra, il 20% dalle nuvole ed il 6% dai gas dell'atmosfera. Di tutta la radiazione solare che entra annualmente nell'atmosfera, solo il 51% può essere utilizzata per riscaldare la Terra e la bassa atmosfera, per evaporare le acque, per eseguire la fotosintesi delle piante. Dell'altro 49% il 30% è riflesso, mentre il restante 19% è assorbito dalle nubi e dall'atmosfera.

Lo spettro della radiazione a livello della superficie terrestre

La radiazione che arriva alla superficie terrestre dopo aver attraversato l'atmosfera ha l'andamento mostrato nel grafico. Come si vede l'andamento in funzione della lunghezza d'onda è profondamente alterato e la regione delle piccole lunghezze d'onda (alte energie della radiazione) è fondamentalmente attenuato. La radiazione proveniente dal sole consiste principalmente di luce ultravioletta, luce visibile e infrarosso vicino. Oltre alla radiazione solare vi è la radiazione atmosferica, cioè quella parte di radiazione dovuta ai processi di assorbimento del gas atmosferico, che consiste nella radiazione termica emessa dall'atmosfera nella regione dell'infrarosso lontano. Come sappiamo la radiazione solare è detta radiazione di piccola lunghezza d'onda (*short-wave radiation*) ed è compresa tra 0.3 e 3 micrometri; la radiazione atmosferica (*long-wave radiation*) ha lunghezze d'onda tra 5 e 50 micrometri.

Lo strumento per misurare la quantità di energia associata alla radiazione per unità di area e in un assegnato intervallo di lunghezze d'onda è detto radiometro. Un buon radiometro dovrebbe misurare uniformemente in tutto il range di lunghezze d'onda. La maggior parte dei radiometri lavorano usando una termopila che misura l'innalzamento di temperatura di un elemento sensibile la cui superficie è verniciata di nero. Viceversa strumenti che utilizzano una cella fotovoltaica non hanno una risposta spettrale uniforme. Un pereliometro misura la radiazione solare diretta. Un piranometro è uno strumento che misura l'irradianza solare proveniente entro un angolo solido assegnato, riferendola poi a una superficie unitaria. Quando è montato orizzontalmente, rivolto verso l'alto, il piranometro misura la radiazione globale (diretta + diffusa); se invece è schermato dalla radiazione che proviene direttamente dal Sole, esso misura la radiazione diffusa.

Radiazione solare al di sopra dell'atmosfera, in giallo, e sulla superficie terrestre, in rosso (autore Kirk 39, Wikimedia Commons).



Guido Alfani e le misure di radiazione solare nell'Osservatorio Ximeniano

Storicamente le prime misure sistematiche della quantità di energia irradiata dal Sole furono compiute fin dagli anni 1830-1840 da parte dello scienziato francese Pouillet. Egli realizzò un pireliometro (figura a lato) che consisteva in una scatola cilindrica di argento sottilissimo, ricoperta di nero fumo, la quale conteneva una massa conosciuta di acqua, in cui pescava il bulbo di un termometro. Il termometro era contenuto in una rientranza longitudinale di un tubo metallico vuoto, mobile attorno a un asse orizzontale. Il tubo sosteneva da una parte la scatola cilindrica



Claude Servais Mathias Pouillet e a lato: Anders Jonas Ångström (fonte wikimedia).



e, dalla parte opposta, un disco metallico parallelo alla base della scatola e delle stesse dimensioni. Se si voleva che i raggi del sole cadessero perpendicolari alla superficie affumicata della scatola, era sufficiente ruotare il tubo in modo che l'ombra della scatola coprisse esattamente il disco metallico. Attraverso una serie di misure durate molti anni Pouillet riuscì a dare una prima valutazione della costante solare assegnandole il valore di 1,76 calorie al minuto e per cm^2 .

La seguente figura, a destra, mostra un altro tipico strumento per misurare la radiazione solare, il pireliometro di Violle e quella a destra ne offre una sezione trasversale. La bolla annerita di un ordinario termometro a mercurio viene esposta ai raggi solari. È situata al centro di una struttura di ottone a doppio guscio sferico entro la quale scorre continuamente una corrente di acqua a temperatura costante. Il guscio sferico interno, del diametro di 15 cm, è annerito. Il tubo attraverso il quale passa la radiazione solare, diretto secondo un

diametro della sfera, è munito di un diaframma con fori di diversa grandezza. Sul suo prolungamento si trova, all'estremità opposta, un'apertura chiusa da un vetro smerigliato che permette di verificare se i raggi solari cadano esattamente sul bulbo del termometro.

Durante la direzione di p. Alfani presso l'Osservatorio Ximeniano di Firenze vennero eseguite tra il 1910 e il 1930 numerose misure di radiazione solare utilizzando la strumentazione più precisa e sensibile esistente in quel periodo.

L'interesse di p. Alfani per le misure di radiazione solare era stimolato dall'importanza sempre crescente che esse assumevano per l'interpretazione dei dati climatologici e meteorologici nelle differenti regioni del nostro pianeta.

"Primo fra tutti – scrive il padre Alfani – collocai un attinometro di Violle, a due sfere, lucida e annerita, per misurare la temperatura delle radiazioni solari. Le due sfere cave ricoprono e contengono internamente i bulbi termometrici, che sono sottili tubi metallici a forma di serpentino avvolti a spirale sferica, di modo che riescono estremamente sensibili.



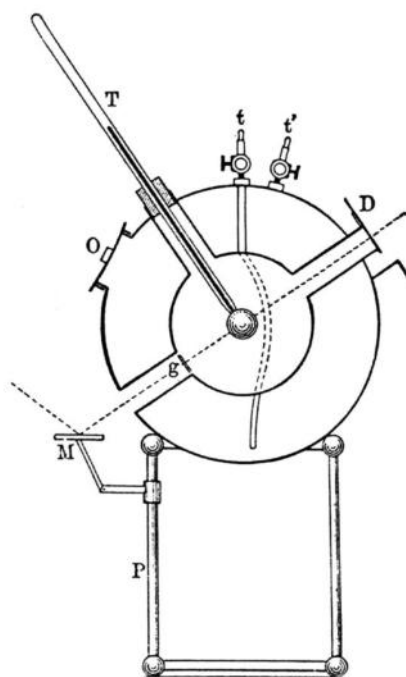
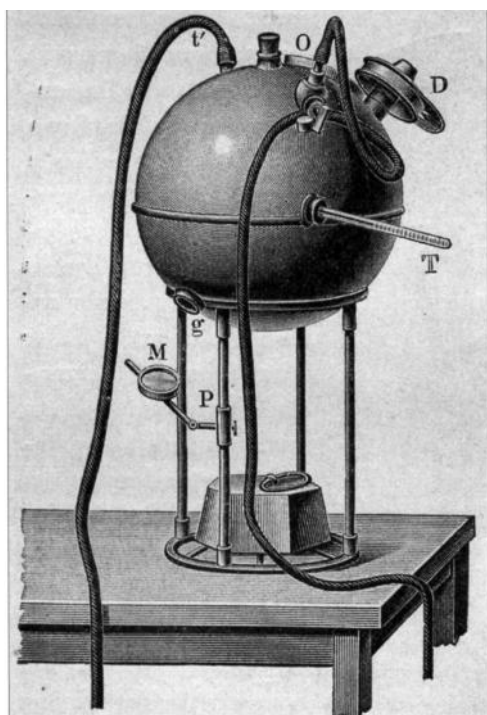
*Pireliometro di Pouillet
(Osservatorio Valerio, Pesaro).*

In basso a sinistra:
piroeliometro di Violle;
a destra: sezione del *pireliometro*
di Violle.

È evidente che, data la grande diversità del potere assorbente delle due sfere, lucida e nera-opaca, nonostante si trovino egualmente esposte al sole, le due temperature segnalate dovranno essere ben diverse e dalla differenza di queste due indicazioni si ha un elemento che serve a indicarci con buona approssimazione l'intensità delle radiazioni calorifiche solari.

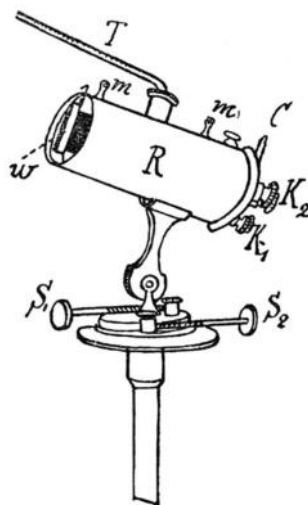
Il padre Alfani utilizzò contemporaneamente anche un registratore di soleggiamento costruito, come l'attinometro di Violle, dalla ditta parigina dei Fratelli Richard.

Nel 1910 il p. Alfani dotò l'osservatorio di un pireliometro di Ångström e con quello strumento negli anni seguenti eseguì alcune letture molto accurate che comparvero nelle pubblicazioni dell'Osservatorio.



«Coll'impianto del pireliometro a compensazione elettrica di Ångström – ebbe a commentare – la sezione meteorica ha avuto un notevole ed importante incremento. Coll'attinometro non si può misurare che la temperatura, ma era bene poter misurare anche la quantità di calore che la superficie terrestre riceve dal sole».

Nelle sue parti essenziali il pireliometro a compensazione elettrica di Ångström (figura a lato) è costituito da due lamine di manganina, annerite con nerofumo e fissate nell'interno di un tubo cilindrico R. Mediante le viti S_1 e S_2 , e valendosi del traguardo mm che stabilisce una visuale parallela all'asse del cilindro R, si può dirigere l'apparecchio verso il Sole; il termometro T, infine, serve ad indicare la temperatura interna del tubo. Opportuni schermi con fori limitano il fascio dei raggi solari che cadono sulle lamine; un altro schermo w a parete doppia, girevole attorno ad un asse che sta nel piano verticale passante nel mezzo del tubo, serve a mettere in ombra l'una o l'altra lamina. Sotto le



In alto: *disegno schematico di pireliometro di Ångström (Osservatorio Ximeniano).*

In basso a sinistra: *pireliometro di Ångström e, a destra: pireliometro di Gorczyński (Museo strumenti e Osservatorio Ximeniano).*



due lamine si trovano due pile termoelettriche le quali, con il riscaldamento delle lamine stesse, sviluppano una debole corrente. Le due pile sono collegate in modo che la corrente sviluppata da una di esse circoli in un galvanometro a specchio in un senso, quella sviluppata nell'altra pila circoli invece in senso opposto. Quando le due lamine sono esposte insieme al Sole e le due pile sviluppano la medesima corrente, la corrente totale circolante nello strumento è nulla e il punto luminoso riflesso sulla scala dallo specchio del galvanometro serve a stabilire lo zero della scala.

Se ora si copre una lamina, si raffredda e il galvanometro, non più bilanciato, segna il passaggio di una corrente. Facendo passare una debole corrente elettrica nella lamina raffreddata, essa si riscalda per effetto Joule e la pila termoelettrica torna a funzionare. Basta regolare la corrente nella lamina in modo da riportare il punto luminoso sullo zero della scala.

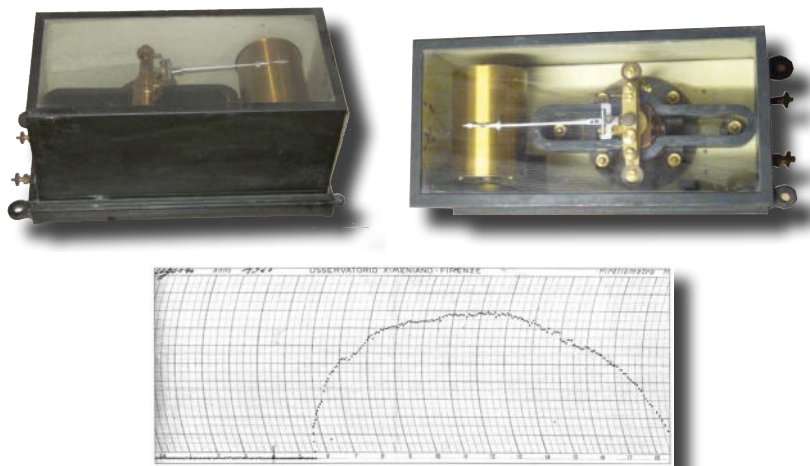
Nello strumento utilizzato nell'Osservatorio Ximeniano la debole corrente di riscaldamento veniva variata con un reostato in serie con la lamina fredda ed era letta con un milliamperometro. La quantità di calore assorbita dalla lamina esposta alla radiazione solare era proporzionale al quadrato della corrente misurata dal milliamperometro secondo una costante tipica dell'apparecchio.

Alla fine del 1924 infine, avendo il p. Alfani ricevuto dal prof. Gorczynski i risultati di una serie di misure eseguite con uno strumento registratore di sua invenzione, decise di acquistarlo e con quello fece molte altre misure, confrontandole con quelle ottenute contemporaneamente con il pireliometro di Ångström.

Lo strumento di Gorczynski era costituito da una pila termoelettrica di Moll rigorosamente rivolta con la sua superficie attiva verso il Sole. Essa produceva una corrente elettrica proporzionale alla quantità di calore solare ricevuto. Per realizzare la condizione di allineamento lo strumento utilizzava una montatura equatoriale con una serie di diaframmi circolari che selezionavano solo un fascio ben collimato di raggi solari. La pila di Moll era formata da 80 elementi di manganina e costantana di spessore di 4-5 micrometri e di larghezza di 0,5 mm, disposti tutti su una superficie circolare di 2 cm di diametro. La risposta della pila era estremamente rapida: bastava intercettare la radiazione solare con una mano e in una frazione di secondo la corrente misurata dal galvanometro cadeva subito a zero. La pila aveva una resistenza elettrica di 45 ohms e la radiazione di una candela campione situata a un metro di distanza produceva una forza elettromotrice di 90 microvolts. La pila di Moll era protetta da una lamina di vetro a chiusura ermetica che, oltre ad impedire il deterioramento degli elementi delle termocoppie, assorbiva una certa quantità di radiazione solare. Il padre Alfani utilizzò il pireliometro di Ångström per tarare lo strumento di Gorczynski in modo da eliminare ogni errore di misura causato dall'assorbimento.

L'apparecchio registratore era costituito da un millivoltmetro Richard con un cilindro motore di 40 cm di circonferenza, che eseguiva un giro in 24 ore. Ogni 4 minuti un dispositivo meccanico abbassava il pennino sul tamburo e sulla carta avvolta attorno ad esso veniva segnato un punto. Nella figura sottostante è mostrata una registrazione eseguita il 14 agosto 1925.

Millivoltmetro registratore dei F.lli Richard, Parigi e in basso una registrazione effettuata con lo strumento di Gorczyński (Museo strumenti dell'Osservatorio Ximeniano).



Lo strumento restò in funzione per diversi anni presso l'Osservatorio Ximeniano.

Emilio Borchì, Renzo Macii
(Fondazione Osservatorio Ximeniano, Firenze)

BIBLIOGRAFIA

- ALFANI G., "L'Osservatorio Ximeniano ed il suo materiale scientifico", in *Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi*, n. 105, Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali, n. 129, Pavia, 1910.
- ALFANI G., "Lectures pyréliométriques (Giugno 1915-Dicembre 1916)" in *Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi*, n. 123, Firenze, 1917.
- ALFANI G., "L'Observatoire Ximénien et son matériel scientifique", in *Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi*, n. 130, Firenze, 1925.
- ALFANI G., "Les observations pyréliométriques au moyen du pyréliomètre enregistreur de Gorczyński, et du pyréliomètre de Ångström (Juin-Juillet-Août 1925)", in *Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi*, n. 132, Firenze, 1925.
- ALFANI G., "Lectures pyréliométriques horaires (Juin-Décembre 1925)", in *Pubblicazioni dell'Osservatorio Ximeniano dei PP. Scolopi*, n. 135, Firenze, 1926.
- ÅNGSTRÖM K., *Nova Acta Reg. Soc. Scient.*, Upsala, 13, p. 1, 1887; *Phys. Rev.*, 1, p. 365, 1893; *Wiedemann Annalen*, 67, p. 633, 1899; *Astrophys. Journ.*, 9, p. 334, 1899; *Meteor. Zeitschr.*, 18, p. 174, 1901.
- CHWOLSON O. D., *Traité de Physique*, tome II, fasc. 3, pp. 467-472, Paris, Hermann, 1907.
- GORCZYŃSKI L., "Sur un instrument thermo-électrique simple pour enregistrer l'intensité du rayonnement solaire", in *Revue d'optique theorique et instrumentale*, 3, 1924, p. 473.
- GORCZYŃSKI L., "On a simple method of recording the total and partial intensities of solar radiation", in *The Journal of the Optical Society of America*, 9, p. 753, 1924.
- MURANI O., *Trattato di Fisica*, vol. I-II, pp. 613-618, pp. 722-724, Milano, Hoepli, 1924-25.
- PINNA M., *Climatologia*, pp. 59-94. Torino, 1977.
- POUILLET C., *Comptes Rendus*, 7, p. 24, 1838; *Poggendorff Annalen*, 45, p. 26, 1838.
- VIOLLE E., *Comptes Rendus*, 78, p. 1425 e p. 1816, 1874; 82, p. 729 e p. 896, 1876; 86, p. 818, 1878; 125, p. 627, 1897; *Ann. chim. et phys.* (5), 10, p. 303, 1877; 17, p. 422, 1879.

