

L'UNIVERSO

3

ANNO XCIX - N° 3 € 5,00

L'UNIVERSO

2019 LUGLIO - AGOSTO - SETTEMBRE

BENI E CATASTO
DOMESDAY BOOK

FOTOGRAFIA
COLORI DELL'INDIA

TERRE E VULCANI
**JAN MAYEN UN'ISOLA
SITUATA NEL NORD
ATLANTICO**

CARTOGRAFIA STORICA
**LA TABULA
CHOROGRAPHICA
ARMENICA**

FLORA ITALIANA
**LE VIOLE: ORIGINE E
DISTRIBUZIONE
GEOGRAFICA**

GEO DATABASE
**LIMITI
AMMINISTRATIVI
REGIONALI**

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE
FIRENZE



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*



Luglio - Agosto - Settembre 2019 n° 3 ANNO XCIX



356

**Parchi, caccia e centri abitati:
cambiamenti nella società
dell'Inghilterra nel corso dell'XI secolo**
FRANCESCA CARERA



368

L'Isola di Maggio
PIERO CARPANI



380

**Le viole della flora italiana:
origini e distribuzione geografica**
AMELIO PEZZETTA



406

**Colori dell'India.
Itinerario da nuova Delhi alla città santa
di Varanasi, fra miseria e splendori**
TONINO PICCONE



426

Studio sui Limiti Amministrativi Regionali. Una proposta con approccio interattivo

VINCENZO LIGUORI



448

La monumentale Mappa armena conservata alla Biblioteca Universitaria di Bologna

ANI MANUKYAN

Primo piano

Grandi Viaggi

Notizie

Libri

Strumenti

Geofilatelia

Prossimamente

461

In copertina:

Statua del budda, salendo al forte di Gwalior (foto T. Piccone)

464

470

482

486

492

493



Rivista del Ministero della Difesa

Editore Difesa Servizi S.p.A.

Direttore responsabile
Andrea Cantile

Redazione e grafica

Ten. Col. 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 novembre 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: € 15,00; Cumulativo: € 30,00
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).

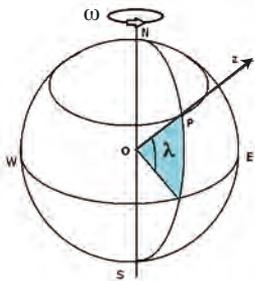
TUTTI I DIRITTI DI RIPRODUZIONE RISERVATI

ISSN:0042-049

L'esperimento del pendolo di Foucault nel Duomo di Firenze (3ª parte)

Evidenza della forza di Coriolis: deviazione verso est

Al fine di studiare il moto di una particella di massa m che cade liberamente con velocità v , a partire dal punto P (di latitudine λ) situata all'altezza h dal livello del mare, scegliamo il riferimento $Pxyz$, con P_x tangente ad un parallelo, diretto verso Est, P_y tangente al meridiano diretto verso il Nord e P_z verticale diretta verso l'alto.



Sia ω la velocità di rotazione della Terra (il periodo T di rotazione è di 1 giorno intorno all'asse dei poli).

Nell'emisfero Nord, con approssimazione al secondo ordine rispetto ad ω (ω è supposto piccolo) la particella è deviata rispetto alla verticale di una quantità y_1 verso Sud e x_1 verso Est.

Il calcolo delle due grandezze x_1 e y_1 in funzione di ω , h , λ e g (accelerazione di gravità), nel sistema di riferimento $Pxyz$, può essere effettuato trascurando le forze d'inerzia (del secondo ordine rispetto ad ω) ma consi-

derando la forza complementare di Coriolis; in tali ipotesi è possibile dimostrare che:

$$y_1 = \frac{\omega^2}{3g} h^2 \sin 2\lambda \quad \text{all'istante } t = 0$$

$$y_2 = \frac{1}{2} \omega^2 g t^4 \sin 2\lambda \quad \text{all'istante } t \neq 0$$

Se non si tenesse conto della rotazione della Terra (e quindi della forza di Coriolis) si avrebbe una caduta verticale della particella con le condizioni:

$$x = 0, y = 0 \text{ e } z = h - \frac{1}{2} g t^2$$

In realtà all'istante $t \approx \sqrt{2g/h}$, quando l'asse è verticale, si avrà:

$$y_1 = \frac{\omega^2}{3g} h^2 \sin 2\lambda < 0 \quad \text{di valore molto piccolo}$$

$$x_1 = \frac{2\omega}{3} \sqrt{\frac{2h^3}{g}} \cos 2\lambda > 0 \quad \text{di valore non trascurabile}$$

L'esperienza di Foucault

Il 6 gennaio 1851 nella cantina del suo appartamento il pendolo, con un ingegnoso sistema di sospensione che garantiva la mobilità del filo in tutte le direzioni (2 gradi di libertà), era pronto; aveva una lunghezza di 2 m alla cui estremità era attaccata una massa di 5 kg. Dopo averlo messo in oscillazione, Foucault osservò che il piano delle oscillazioni del pendolo aveva deviato dalla direzione iniziale, dimostrando la rotazione della Terra.

I più famosi matematici francesi, citiamo tra questi Cauchy, Laplace, Poisson, sostenevano che la deviazione del piano di oscillazione del pendolo non avrebbe potuto essere rilevata.

Il 3 febbraio dello stesso anno Foucault, nella Sala Cassini (sala del Meridiano) dell'*Observatoire de Paris*, ripeté l'esperienza con un pendolo di lunghezza 11 m, alla presenza di otto scienziati, i più famosi di Parigi. Il direttore dell'*Observatoire* Jean Dominique Arago (1786-1853), sul biglietto d'invito aveva scritto «Siete inviati a venire a vedere la Terra girare [...]».

Contemporaneamente Arago lesse ai membri dell'*Académie Royal des Sciences* una comunicazione dello stesso Foucault nella quale lo scienziato descriveva sia l'esperimento che aveva fatto nella cantina della sua abitazione che la prova della rotazione della Terra; nella stessa comunicazione presentò anche e quella che lui stesso chiamò "legge dei seni" ovvero

$$t = t_0 / \sin \lambda$$

Dove t rappresenta il tempo impiegato dal piano di oscillazione di un pendolo a compiere un giro completo alla latitudine λ e $t_0 = 86400$ s, ovvero la durata del giorno solare medio espressa in secondi.

Se indichiamo con ω la precessione del piano di oscillazione del pendolo, ai due poli il ciclo si compie in 24 ore quindi $\omega = 15^\circ$ ogni ora mentre all'Equatore il piano di oscillazione del pendolo non si sposta ($t = \infty$) ed a Parigi il ciclo si completa in 114743 s (pari a 31873 ore) cui corrisponde $\omega = 11^\circ 18'$ ogni ora.

A seguito dell'interesse suscitato dall'esperienza, il principe Luigi Bonaparte, presidente della Repubblica di Francia chiese a Foucault di fare una dimostrazione pubblica; questa ebbe luogo alla fine di marzo dello stesso anno nel Panthéon di Parigi alla presenza dei cittadini.



Immagine Sala Cassini
(foto FredA, fonte Wikimedia Commons).



Esperienza di Foucault; a destra, riproduzione dell'esperienza al Pantheon di Parigi (fonte Wikimedia Commons).

Il filo del pendolo, in acciaio, fissato alla volta del tempio, era lungo 67 m e la massa pendolare, di forma sferica, era di 28 kg; la sospensione era stata realizzata dallo scienziato in modo da avere 2 gradi di libertà e consentire al pendolo stesso libere oscillazioni in tutte le direzioni.

La massa veniva allontanata dalla sua posizione di equilibrio mediante un nastro che la passava intorno al suo diametro maggiore ed uno spago.

In un articolo sul *Journal des débats* del 1851, Foucault descrisse l'oscillazione del pendolo con le seguenti parole:

Dopo una doppia oscillazione durata sedici secondi, lo vedemmo ritornare circa 2.5 mm a sinistra del punto di partenza. Poiché lo stesso effetto continuava a verificarsi a ogni nuova oscillazione del pendolo, questa deviazione aumentava continuamente in proporzione al passare del tempo.

Nella figura seguente è riportata la massa del pendolo adoperato nell'esperienza al Panthéon; era costituita da una sfera cava di ottone riempita di piombo. La sfera era stata realizzata dall'ingegnere Paul Gustave Froment (1815-1865), che aveva assistito Foucault anche nelle altre esperienze.

L'esperienza fu ripetuta nuovamente con grande successo all'Esposizione Nazionale di Parigi del 1856.

L'esperienza di Foucault ebbe enorme successo e risonanza nella pubblica opinione tanto che fu ben presto ripetuto in diverse località europee e quindi alle varie latitudini: nelle cattedrali di Reims e di Rennes in Bretagna, nella Biblioteca Radcliffe di Oxford, a Ginevra, a Dublino in Irlanda, a Bristol, nella Cattedrale di York, a Londra, nella chiesa dei gesuiti di Sant'Ignazio a Roma, negli Stati Uniti d'A-



Massa conservata al Musée des Arts et Metiers di Parigi (fonte Wikimedia Commons).

merica a New York, in Brasile a Rio de Janeiro e nell'Isola di Ceylon, confermando la correttezza della legge dei seni di Foucault.

Successivamente al Panthéon di Parigi venne ripetuta l'esperienza del pendolo di Foucault a cura di Nicolas Camille Flammarion (1842-1925) e l'ingegnere Alphonse Berget (1860-1934), in occasione del cinquantenario della prima esperienza.

Attualmente in molti Istituti, Scuole e Musei di tutto il mondo l'esperienza di Foucault viene ripetuta a scopo didattico, destando sempre lo stupore nei presenti, che constatano di persona che la Terra 'gira'.

Le misure di Antonelli e Cecchi nel duomo di Firenze

Le uniche misure che andremo ad esaminare sono quelle dei direttori dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze che ebbero luogo alla fine dell'Ottocento e nei primi decenni del Novecento nel duomo della città. I protagonisti furono gli scolopi, Padre Filippo Cecchi e Padre Giovanni Antonelli e, più tardi, i Padri Guido Alfani e Cesare Coppedè.

Una prima serie di misure fu eseguita tra il 3 ed il 7 settembre 1866 nel Duomo di Firenze dai Padri scolopi Antonelli e Cecchi; i risultati sono contenuti in poche pagine di un quadernetto conservato nell'Archivio dell'Osservatorio Ximeniano (Documenti Tecnici e carteggi, VI – 37).

Il P. Guido Alfani fa una piccola premessa:

N. B. In questo libretto sono raccolte le esperienze fatte col pendolo di Foucault nel Duomo di Firenze dai Padri Antonelli e Cecchi d. S. P. tra i giorni 3 – 7 Sett. 1866, da esse si ricava che il pendolo non era registrante e le deviazioni erano lette per mezzo di un teodolite. Il punto di sospensione del pendolo doveva trovarsi verso la base della lanterna poiché il periodo del pendolo risultava di sec 9,3950 corrispondente ad una lunghezza di m 88,36 circa.

Di tali esperienze (che si sappia) non fu mai pubblicata nessuna relazione.

13 Giugno 1936 P. Guido Alfani

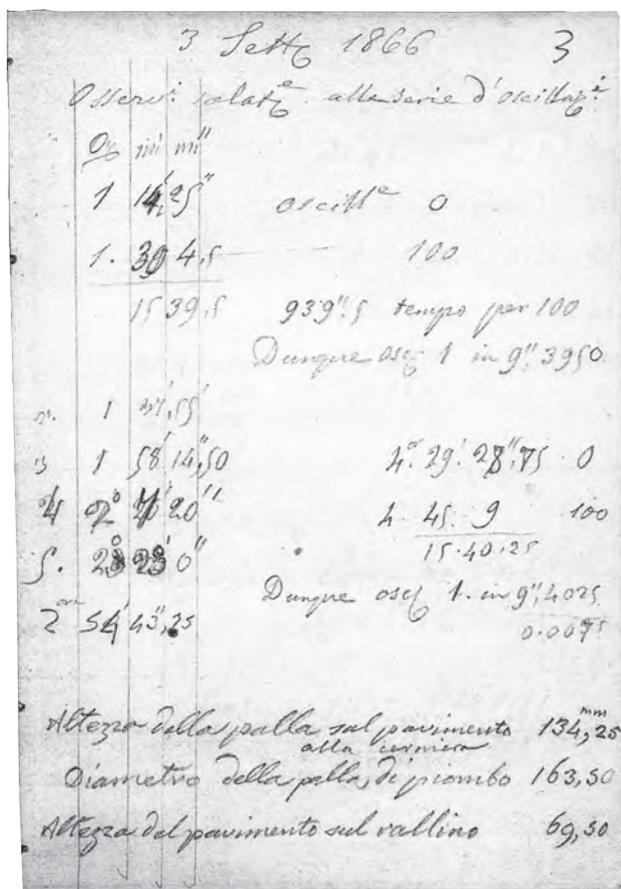
Riportiamo la p. 3 del quadernetto dove sono annotati alcuni dati del pendolo e alcune misure relative al 3 settembre 1866. Con i dati riportati sappiamo che la massa oscillante, di piombo, era di circa 27 kg (di peso simile a quella dell'esperienza di Foucault al Panthéon di Parigi, che era di 28 kg).

Le pagine del libretto ovviamente sono piene di dati sul periodo del pendolo e della deviazione che, ripetiamo veniva misurata con un teodolite. Tra tutte le pagine ci sembra interessante riportare quella relativa al 4 settembre; i due scolopi annotano del libretto che per la misura degli angoli di deviazione veniva adoperato un teodolite che era situato alla distanza (raggio del teodolite alla Palla) di 19,70 m; annotano anche che: «[...] altezza della palla sul pavimento millimetri 132 alla cerniera. La cerniera ha una grossezza di millimetri 7,5 [...]».

La cerniera è il sistema di sospensione del filo del pendolo, con piccolo attrito e con due gradi di libertà; riteniamo che questo

Qui, e nella pagina a lato: due delle pagine del libretto.

Nella pagina a lato, in basso: sistema di sospensione delle masse, tipico dei sismografi del Cecchi.



sistema di sospensione probabilmente fosse costituito da un robusto cavaliere o un anello nella cui parte inferiore era attaccato il filo del pendolo (mediante viti); nella parte superiore era inserita una robusta vite che terminava con una punta di acciaio; la punta poggiava su un incavo praticato su un supporto di acciaio murato nella parete. Questo sistema di sospensione, tipico degli strumenti del Cecchi, consente di avere i due gradi di libertà richiesti dall'esperienza unitamente una mobilità notevole del pendolo su un piano orizzontale.

La cerniera viene cambiata il giorno successivo, il 5 settembre, in quanto probabilmente la punta si era un po' appiattita; nello stesso giorno annotano che: «[...] parrebbe dunque che la deviazione sul meridiano fosse maggiore che sul parallelo [...]».

Le misure cessano il 7 settembre 1866 dopo che i due studiosi si erano accorti di dover ricominciare da capo l'esperienza in quanto: «[...] Verso le nove e mezzo una mano poco gentile ha mosso il pendolino, spostandone il filo. Sicché l'operazione è rimasta senza effetto, né il limite del tempo, già sprecato [...] ci ha permesso di ripetere l'esperienza medesima [...]».

I Padri Antonelli e Cecchi non ripeterono mai le misure, probabilmente per mancanza di tempo a causa dei loro numerosi impegni 'scientifici' ai quali si erano dedicati.

*Emilio Borchì, Renzo Maciì
(Fondazione Osservatorio
Ximeniano, Firenze)*

