

# L'UNIVERSO

COSTRUZIONI MEDIOEVALI  
COSTRUIRE NEL  
MEDIOEVO  
CENTROPADANO

TURISMO CULTURALE  
IL CASO DI PAESTUM

ASIA  
LE PRIME  
CONOSCENZE  
GEOGRAFICHE  
DEL TIBET

GRANDE GUERRA  
CESARE BATTISTI  
«RAPIDAMENTE DECISE»

FOTOGRAFIA  
GIAPPONE  
CITTÀ DEL FUTURO

CARTOGRAFIA STORICA  
L'ITALIE GASTRONOMIQUE

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE  
FIRENZE

1

ANNO XCIX - N° 1 - € 5,00

L'UNIVERSO

2019 GENNAIO - FEBBRAIO - MARZO



# 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*



**Gennaio - Febbraio - Marzo 2019 n° 1 ANNO XCIX**



**6**

**Cesare Battisti di fronte alla guerra**

VINCENZO CALÌ



**22**

**Costruire nel Medioevo Centropadano:  
terra, legno, mattoni e pietre per una  
cronologia delle difese**

ELIANA BERTAMONI - PIERMASSIMO GHIDOTTI



**52**

**Il patrimonio archeologico come  
eccellenza turistica: il caso di Paestum**

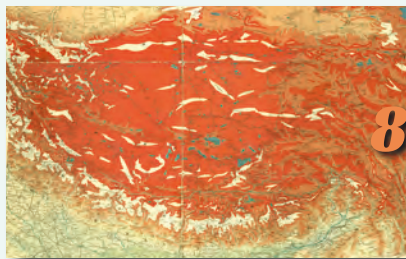
EMILIA SARNO - RITA PUGLIESE



**66**

**Giappone città del futuro  
memorie del passato**

MARIO RISTORI



88

## Il contributo di Ippolito Desideri alla conoscenza geografica del Tibet

FRANCESCO SURDICH



108

## La tavola delle prelibatezze. L'Italie gastronomique nella costruzione culturale e turistica del volto della nazione

MARCO PETRELLA

### Primo piano

### Grandi Viaggi

### Notizie

### Libri

### Strumenti

### Geofilatelia

### Prossimamente

125

128

137

146

148

156

157

### In copertina:

Tokyo, Shinjuku:  
vista notturna dall'alto del  
45° piano del grattacielo  
dove ha sede il Governo  
Metropolitano di Tokyo.  
(foto M. Ristori).



#### Direttore responsabile

Andrea Cantile

#### 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

#### Rivista del Ministero della Difesa

Editore Difesa Servizi S.p.A.

Fotolito: Officine IGM - Firenze  
approvato per la stampa  
in luglio 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 cartaceo: € 30,00  
Il prezzo è comprensivo dei quattro fascicoli più allegati  
e supplementi.  
Cartaceo: versamento on-line, oppure sul conto corrente po-  
stale 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 (1ª parte)

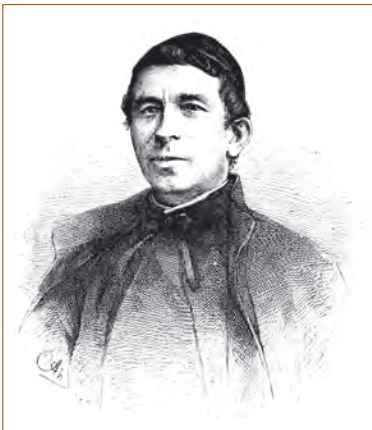
### Introduzione

La rotazione del globo terrestre può essere messa in evidenza dalla presenza delle cosiddette forze fittizie. I tentativi di rivelare tale rotazione ebbero successo solo alla metà dell'Ottocento con la famosa esperienza di Foucault, basata sull'invarianza del piano di oscillazione di un pendolo rispetto ad un sistema di riferimento inerziale. Il pendolo è costituito da una grossa sfera di metallo sospesa al soffitto da un lungo



Léon Foucault  
(fonte Wikimedia Commons).

Sotto: Padre Angelo Secchi tra il 1877 e il 1878 (tratta dal volume Popular Science Monthly, vol. XII, New York, D. Appleton and Company, 1878, p. 659; fonte Wikimedia Commons).



filo sottile ed inestensibile. Allontanando la sfera dalla sua posizione di equilibrio senza comunicarle alcun impulso laterale, si ha un moto oscillatorio periodico con un piano di oscillazione ben definito. Foucault eseguì le sue misure nel 1851 in tre esperienze successive, l'ultima delle quali, quella del Pantheon di Parigi, con una sfera di 28 kg, munita inferiormente di una punta per tracciare un segno del piano di oscillazione del pendolo sulla sabbia distesa sul pavimento dell'edificio, e sospesa alla sommità della cupola con un filo di 67 m.

L'esperienza di Foucault, che mise in evidenza la rotazione del piano di oscillazione del pendolo in un sistema di riferimento non-inerziale, ebbe una risonanza eccezionale anche in Italia dove Angelo Secchi, direttore dell'Osservatorio del Collegio Romano, la ripeté nella Chiesa di S. Ignazio (SECCHI A., n. 2, 1851, p. 238) a Roma, allo scopo di mettere a confronto i dati sperimentali con la teoria elaborata a Pisa dal prof. Ottaviano Fabrizio Mossotti (MOSSOTTI F., 1851, n. 2, p. 232).

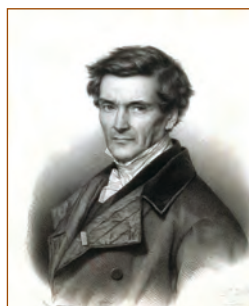
### La forza di Coriolis e le conseguenze della rotazione terrestre

La rotazione della Terra è importante sia nel campo dell'astronomia, sia in quello della dinamica dell'atmosfera terrestre. Di solito si utilizza un sistema di riferimento fisso rispetto alla Terra e quindi non-inerziale. Se  $\underline{r}$  è il vettore di posizione orientato dall'origine del sistema fisso C (per esempio dal centro della Terra) al punto di osservazione A mobile sulla superficie terrestre, è stata ricavata dal fisico-matematico francese Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843) la seguente relazione tra

l'accelerazione  $\underline{a}_i$  nel sistema di riferimento inerziale (per esempio il sistema delle stelle fisse) e l'accelerazione  $\underline{a}_R$ , la velocità  $\underline{v}_R$  ed il vettore posizione  $\underline{r}$  nel sistema ruotante non-inerziale:

$$\underline{a}_i = \underline{a}_R + 2 \underline{\omega} \wedge \underline{v}_R + \underline{\omega} \wedge (\underline{\omega} \wedge \underline{r})$$

Esaminiamo i termini contenenti il vettore velocità angolare  $\underline{\omega}$  (considerato costante) nella parte a destra dell'equazione precedente. Il termine  $2 \underline{\omega} \wedge \underline{v}_R$  rappresenta l'accelerazione di Coriolis; essa è perpendicolare sia alla velocità  $\underline{v}_R$  nel sistema ruotante che ad  $\underline{\omega}$ . Il termine  $\underline{\omega} \wedge (\underline{\omega} \wedge \underline{r})$  è l'accelerazione centripeta, che ha modulo  $\omega^2 R$ , dove  $R = AD$  è la distanza da  $\underline{r}$  all'asse di rotazione della Terra;  $\underline{\omega} \wedge (\underline{\omega} \wedge \underline{r})$  è diretto perpendicolarmente verso l'asse di rotazione, come mostrato in figura.

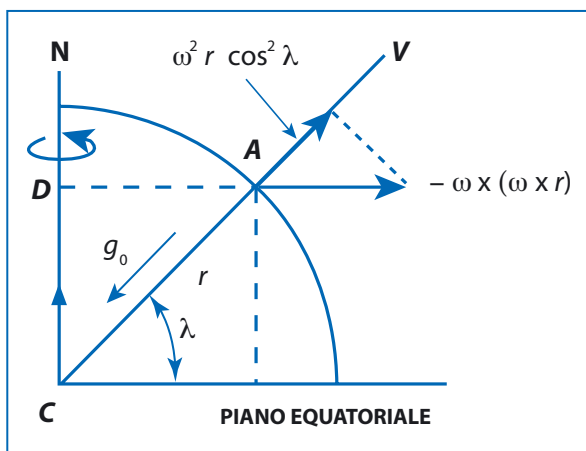


Gaspard-Gustave de Coriolis, 1841  
(incisione di Zéphyrin Belliard dopo la pittura di Roller; fonte Wikimedia Commons).

L'equazione precedente si può scrivere in altra forma, moltiplicando ambo i membri per la massa  $m$  del punto materiale in movimento e tenendo conto che  $m \underline{a}_i = \underline{F}$  è, secondo la seconda legge di Newton, l'equazione della forza applicata agente sulla massa  $m$ :

$$m \underline{a}_R = \underline{F} - 2 m \underline{\omega} \wedge \underline{v}_R - m \underline{\omega} \wedge (\underline{\omega} \wedge \underline{r})$$

I termini che contengono  $\underline{\omega}$  sono le forze fittizie;  $- 2 m \underline{\omega} \wedge \underline{v}_R$  è la forza di Coriolis ed il termine  $- m \underline{\omega} \wedge (\underline{\omega} \wedge \underline{r})$  è la forza centrifuga. La gravità e la forza centrifuga sommate insieme danno la gravità effettiva  $\underline{g}' = - g \underline{k} - \underline{\omega} \wedge (\underline{\omega} \wedge \underline{r})$ .



(da ALONSO M., FINN E. S., Fisica, Milano, Masson, 1995, p. 65).

### Sommario delle conseguenze della rotazione terrestre

Consideriamo due sistemi di riferimento d'uso frequente.

$\alpha$ ) Sistema  $Tx'y'z'$  con origine nel centro della Terra, assi  $x'y'z'$  paralleli rispettivamente agli assi  $xyz$  del sistema copernicano o solare  $Sxyz$ .

$Tx'y'z'$  = sistema di riferimento con la Terra orbitante intorno al Sole (velocità  $V \sim 30 \text{ km s}^{-1}$ )

$$ST = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$$

Periodo di rotazione:  $3,156 \cdot 10^7$  s

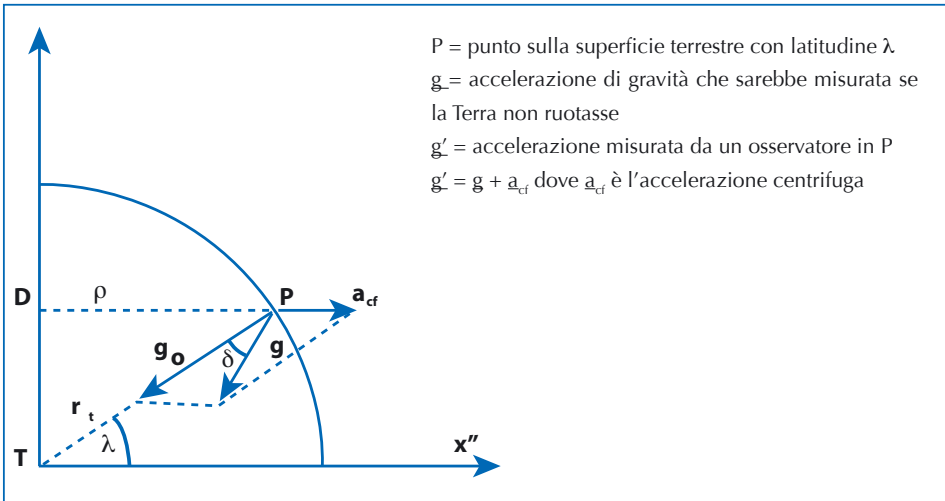
Accelerazione centrifuga  $a_{cf} = V^2 / TS$  ( $a_{cf} = 0,6 \text{ cm s}^{-2}$  per il moto orbitale della Terra). Il centro della Terra ruota intorno al Sole S con un periodo di  $3,156 \cdot 10^7$  s (anno solare medio) cui corrisponde una velocità lungo l'orbita  $V \sim 30 \text{ km s}^{-1}$ .

β) Sistema  $Tx''y''z''$  con origine nel centro della Terra, asse  $z''$  coincidente col l'asse di rotazione terrestre, piano  $x''y''$  coincidente con il piano equatoriale terrestre. Gli assi  $x''$  e  $y''$  sono solidali con due punti A e B dell'equatore terrestre e di longitudine rispettivamente  $0^\circ$  e  $90^\circ$ . Questo sistema ruota, rispetto a un sistema con gli assi  $x''$  e  $y''$  puntati sulle stelle fisse, con un periodo di  $8,64 \cdot 10^4$  s (giorno solare medio cui corrisponde la velocità angolare  $\omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}$ ).

γ) Misura dell'accelerazione di gravità.

Come si è già visto le misure dell'accelerazione di gravità, al variare della latitudine, risentono dell'effetto della rotazione terrestre.

Nella figura seguente è illustrata la situazione in un punto P sulla superficie della Terra alla latitudine  $\lambda$ . In un sistema con origine in T ed assi solidali con le stelle fisse si misurerebbe un'accelerazione  $G$  in assenza di rotazione della Terra. Nel sistema rotante  $Tx''y''z''$  un osservatore terrestre misura un'accelerazione  $g'$  che vale  $g' = g + a_{cf}$



(da BORGIA B., GRILLI M., Fisica. Meccanica e termodinamica, Roma, Rotastampa, 2000, p. 32).

L'accelerazione centrifuga  $a_{cf}$  vale nel punto P:

$$a_{cf} = \omega^2 r \cos \lambda \text{ vers } a_{cf} = 3,39 \cos \lambda \text{ vers } a_{cf} \text{ (cm s}^{-1}\text{)}$$

$DP = TP \cos \lambda =$  distanza di P dall'asse di rotazione  $z''$

$r =$  raggio medio terrestre =  $6,37 \cdot 10^8$  cm

$\lambda =$  latitudine del punto P

vers  $\underline{a}_{cf} =$  versore del vettore accelerazione centrifuga  $\underline{a}_{cf}$

A causa della rotazione terrestre, si hanno i due effetti seguenti:

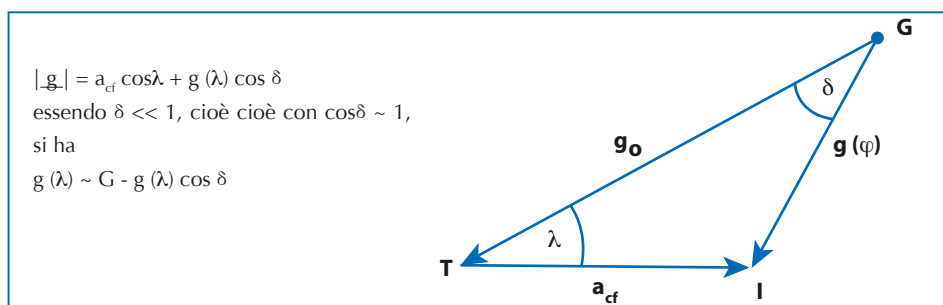
I - L'accelerazione  $g$ , misurata da un osservatore terrestre, non è esattamente lungo la verticale  $\underline{PT} = -\underline{r}$  del posto. L'inclinazione vale

$$\delta \sim a_{cf} \sin \lambda / g$$

A latitudine  $\lambda = 45^\circ$ ,  $\delta$  vale circa  $2,4 \cdot 10^{-3}$  rad, cioè  $0,14^\circ$

A causa di questa inclinazione si ha, nell'emisfero Nord della Terra, una deviazione verso sud nella retta individuata dal filo a piombo.

II - Il modulo dell'accelerazione  $g$ , misurata da un osservatore terrestre, è diverso dal modulo di  $g$



(da BORGIA B., GRILLI M., Fisica. Meccanica e termodinamica, Roma, Rotastampa, 2000, p. 110).

Precisamente si ha  $g(\lambda) \sim G - g(\lambda) \cos \delta$  ove  $g(\lambda) =$  modulo di  $g$  misurato da un osservatore terrestre alla latitudine  $\lambda$ . Da qui si ottiene  $g(\lambda) \sim G - 3,39 \cos^2 \lambda$  (in  $\text{cm s}^{-2}$  o gal)\*. Ponendo  $\lambda = 90^\circ$  si ottiene  $g(90^\circ) = G = g_p$  in cui  $g$  indica la gravità che si misura al Polo. Al Polo (Nord o Sud) la rotazione terrestre non ha nessun effetto. Quindi si può scrivere

$$g(\lambda) = g_p - 3.39 \cos^2 \lambda \text{ (gal)}$$

Da questa equazione si ha per  $\lambda = 0^\circ$  (Equatore)

$$g_E = g_p - 3.39 \text{ (gal)}$$

\* gal o Galileo è l'unità di misura dell'accelerazione nel sistema CGS.

La differenza fra il valore dell'accelerazione di gravità misurata al Polo e all'Equatore vale  $g_p - g_E = 3.39$  gal. L'esperienza conferma (si veda la tabella) che  $g_p - g_E > 0$  ma fornisce un valore nettamente diverso (5,19 gal).

Variazioni di g con la latitudine					
Latitudine	0	24,5	49	61	90
g (cm s <sup>-2</sup> )	978,03	978,97	980,94	982,18	983,22

La discrepanza trovata tra il valore misurato e quello atteso per la differenza ( $g_p - g_E$ ) si spiega osservando che il risultato  $g_p - g_E = 3.39$  gal sarebbe valido se la terra fosse esattamente sferica. Tenendo conto dello schiacciamento ai poli e precisamente con  $f = (R_E - R_p) / R_p = 1 / 298,5 \sim 1 / 300$ , con  $R_{E(P)} =$  Raggio terrestre all'Equatore (Polo), si trova accordo tra teoria e misura. I due raggi terrestri valgono rispettivamente  $R_E = 6378$  km ed  $R_p = 6359$  km: essi differiscono solo di 19 km.

#### δ) Forza di Coriolis e sistema terrestre rotante

Discutiamo alcuni effetti della rotazione terrestre dovuti alla presenza dell'accelerazione di Coriolis, nel caso di punti non in quiete in un sistema ruotante.

III – Deviazione dalla verticale (direzione del filo a piombo) di un grave in caduta libera.

In un sistema di riferimento solidale con la Terra rotante  $Tx''y''z''$  un grave in movimento è soggetto all'accelerazione

$$\mathbf{g}' = \mathbf{g} + \mathbf{a}_{cf} - \mathbf{a}_{cor} = \mathbf{g} - \mathbf{a}_{cor} = \mathbf{g} - 2(\boldsymbol{\omega} \wedge \mathbf{v}_L)$$

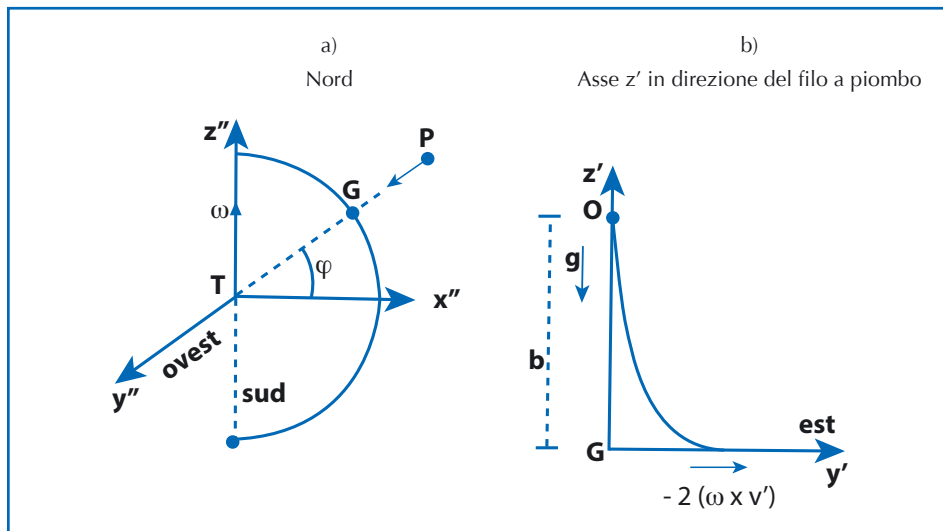
dove  $\boldsymbol{\omega}$  è la velocità di rotazione della Terra e  $\mathbf{v}_L$  è velocità del grave nel sistema  $Tx''y''z''$ .

L'accelerazione  $\mathbf{g}$  è diretta lungo la direzione nel punto P che assume un filo a piombo.

L'accelerazione  $-\mathbf{a}_{cor} = -2(\boldsymbol{\omega} \wedge \mathbf{v}_R)$  è diretta come l'asse  $y''$  della figura a) seguente ed ha verso opposto a quello di  $y''$



Un grave in moto, quindi, è soggetto ad un'accelerazione  $g$  diretta lungo la verticale e all'accelerazione  $-2(\underline{\omega} \wedge \underline{v}_R)$  diretta verso est (sia che  $P$  sia tanto nell'emisfero Nord quanto Sud:



(da BORGIA B., GRILLI M., Fisica. Meccanica e termodinamica, Roma, Rotastampa, 2000, p. 112).

Descriviamo allora il moto del grave in un sistema di assi  $x' y'$  orientati come in b) della figura sopra, cioè con  $z'$  lungo la direzione del filo a piombo verticale,  $y'$  diretto verso est e con l'origine in  $P$ . Un grave che parte da fermo dal punto  $O$ , al tempo  $t = 0$ , e che dopo il tempo  $t$  ha acquistato lungo  $z'$  una velocità  $v(t) = g t$  è soggetto ad un'accelerazione lungo  $y'$ , di modulo:

$$d^2 y'(t) / dt^2 = 2 \omega v(t) \cos \lambda = 2 \omega g \cos \lambda t$$

Integrando due volte, rispetto a  $t$ , si trova

$$y'(t) = (1 / 3) \omega g \cos \lambda t^3$$

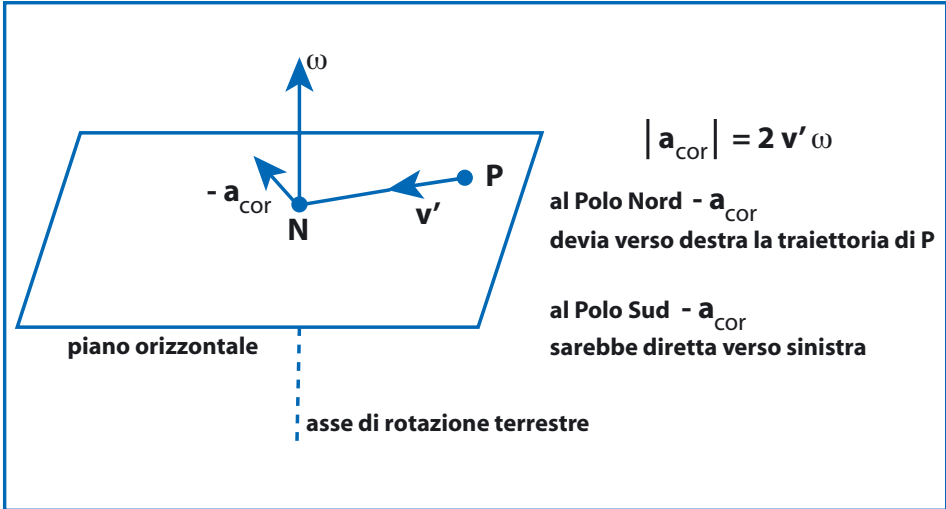
Poiché il tempo che il grave impiega a cadere da  $O$  a  $P$ , cioè da un'altezza  $h$ , vale  $t = (2 h / g)^{1/2}$  si ha che la deviazione dalla verticale è  $y'(h) = [\sqrt{8} / (3\sqrt{g})] \omega \cos \lambda t^{3/2}$ . Per  $\lambda = 42^\circ$  ( $g = 9.803 \text{ m s}^{-2}$ ) e  $h = 23 \text{ m}$ , la formula ricavata prevede una deviazione  $y'(23) = 1.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ .

Si osserva che questa deviazione è trascurabile per gravi in caduta libera, ma è significativa nel caso di satelliti o razzi, lanciati a velocità di migliaia di metri al secondo.

IV – Effetto della forza di Coriolis nel moto di un corpo lungo un piano orizzontale al Polo Nord.

In questo caso risulta che  $-a_{\text{cor}}$  è diretta, come si ricava dalla figura seguente, verso la destra

$$| -a_{\text{cor}} | = 2 v' \omega$$

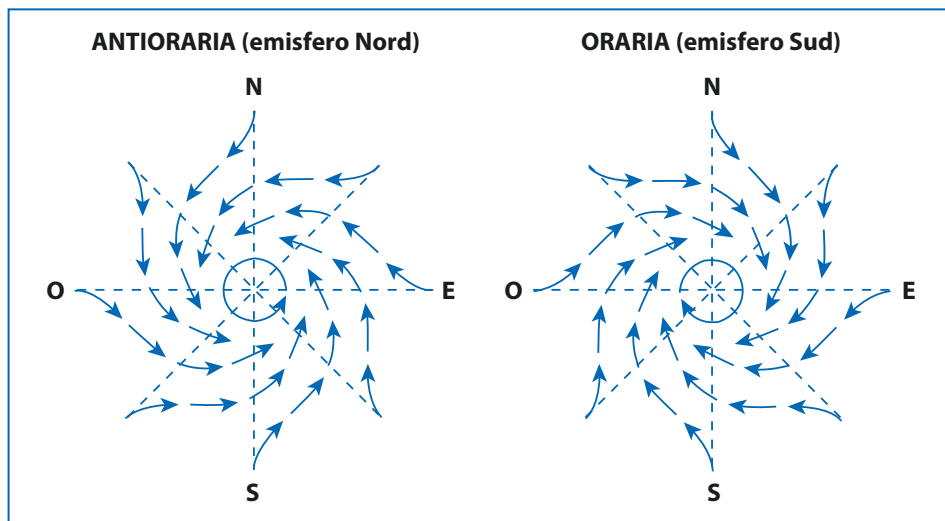


*Effetto della forza di Coriolis nel moto di un corpo lungo un piano orizzontale al Polo Nord (da BORGIA B., GRILLI M., Fisica. Meccanica e termodinamica, Roma, Rotastampa, 2000, p. 114).*

Al Polo Nord  $-a_{\text{cor}}$  devia verso destra la traiettoria del grave in moto P, al Polo Sud  $-a_{\text{cor}}$  sarebbe diretta verso sinistra della traiettoria descritta dal corpo, che quindi è deviato verso destra. Una situazione del tipo riportato nella figura precedente si ha quando particelle d'aria si muovono radialmente verso il centro di un vortice, nel quale si ha un minimo di pressione. A seguito di ciò i cicloni hanno una rotazione antioraria (oraria) nell'emisfero Nord (Sud), come è indicato nella figura nella pagina a lato.

Un altro esempio per cui, invece di un punto materiale isolato, si considera un insieme di punti materiali, è quello di un fiume che scorre lungo la direzione di un meridiano.

La figura seguente ci dice allora che la forza d'inerzia dell'acqua del fiume, se questo scorre da sud verso nord, tende a esercitare una pressione contro la riva destra dell'emisfero boreale, contro la riva sinistra nell'emisfero australe, dove il cambiamento di segno è dovuto al  $\sin \lambda$ . La pressione contro la riva destra dei fiumi (destra perché i geografi hanno trovato nell'emisfero nord gli esempi più notevoli) si manifesta attraverso un maggior logoramento della riva stessa (Legge di Bauer).



*Rotazione (o vortice) nei cicloni*  
 (da BORGIA B., GRILLI M., *Fisica. Meccanica e termodinamica*, Roma, Rotastampa, 2000, p. 114).

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

## BIBLIOGRAFIA

- ALONSO M., FINN E. S., *Fisica*, Milano, Masson, 1995.  
 BORGIA B., GRILLI M., *Fisica. Meccanica e termodinamica*, Roma, Rotastampa, 2000.  
 MOSSOTTI F., *Annali di Scienze Mat. e Fis.*, n. 2, 1851, p. 232.  
 SECCHI A., *Annali di Scienze Mat. e Fis.*, n. 2, 1851, p. 238.



2019 GENNAIO - FEBBRAIO - MARZO

L'UNIVERSO

ANNO XCIX - N° 1 € 5,00

1