

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI
ANNO CCXCVI.

1899

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME VIII.

1° SEMESTRE



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1899

Meteorologia. — Marea atmosferica. Nota del dott. FRANCESCO MORANO, presentata dal Socio BLASERNA.

Se il sole e la luna producono sulle acque degli oceani il fenomeno dell'alta e bassa marea, lo stesso si argomenta subito doversi verificare eziandio nell'atmosfera terrestre. Furono il Sigorgne, il Frisi, il Sigaud de la Fond i primi che dopo il Newton manifestarono questa convinzione. L'aspettativa fe' sì che non appena dal Godin e Condamine nell'America meridionale ⁽¹⁾ e da altri ancora fu bene assodato il fatto osservato per la prima volta dal dott. John Beale in Inghilterra ⁽²⁾, che cioè la pressione barometrica nello spazio di un giorno presenta un andamento periodico, si disse senz'altro che quello era un effetto della marea solare. Così sostennero Hemmer ⁽³⁾, Cassan ⁽⁴⁾, Späth ⁽⁵⁾ con molti altri.

Non mancarono d'altra parte di quelli che impugnando l'affermazione suddetta attribuirono il fenomeno in questione a cause metereologiche ⁽⁶⁾; ma fu il Laplace ⁽⁷⁾ che matematicamente dimostrò che l'effetto simultaneo dell'attrazione del sole e della luna sul barometro per latitudini anche non molto grandi è quasi inapprezzabile; donde si conclude che le sensibili oscillazioni barometriche diurne non possono dipendere dall'attrazione del sole ma debbono avere un'origine diversa.

Per istituire un confronto tra le oscillazioni diurne e quelle causate dalla marea propriamente detta e calcolare gli effetti di questa sull'altezza dell'atmosfera, ho intrapreso il presente studio pei fini seguenti:

- I. Determinare per Roma l'oscillazione barometrica nel giorno solare.
- II. Determinare l'oscillazione barometrica nel giorno lunare.
- III. Dedurne l'altezza della marea tanto lunare che solare.

Per le osservazioni barometriche ho adoperato i valori ottenuti sulla Specola Vaticana ⁽⁸⁾ negli anni 1891, 1892, 1893, 1894.

Le misure sono state ottenute col barografo registratore Richard debitamente corretto sul barometro Fortin.

⁽¹⁾ Journal du voyage à l'équateur par Mr. de la Condamine. Paris 1751, p. 150.

⁽²⁾ Philosophical transactions, London, vol. I, 1665, p. 157.

⁽³⁾ Gren's Journal der Physik, vol. II, 1790.

⁽⁴⁾ Ibid., vol. III, 1791.

⁽⁵⁾ Ibid.

⁽⁶⁾ Kirwan, Gren's Journal der Physik, vol. IV, 1791.

⁽⁷⁾ Mécanique céleste, tom. V.

⁽⁸⁾ Pubblicazioni della Specola Vaticana, vol. II, III, IV, V.

Andamento barometrico nel giorno solare.

L'andamento barometrico nel giorno solare è stato da me determinato mese per mese, e quindi di nuovo per tutto l'anno. Nella seguente tabella do un quadro dei risultati.

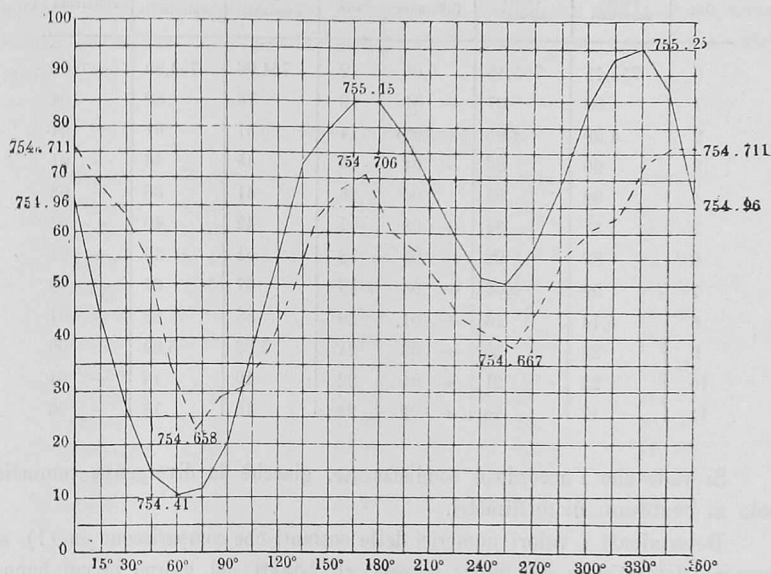
$$\text{Pressione} = 750^{\text{mm}} +$$

Ore	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Anno
0	3,67	6,67	5,04	4,08	3,69	5,62	4,60	5,56	6,21	4,82	5,82	6,03	5,15
1	61	65	00	3,98	57	55	53	52	14	78	75	5,86	08
2	60	58	4,90	86	47	44	42	44	03	67	68	82	4,99
3	55	48	74	73	41	36	35	38	5,97	54	61	70	90
4	43	36	64	64	35	35	34	35	92	40	49	58	82
5	28	34	60	61	40	40	40	38	90	44	44	47	81
6	26	40	65	67	50	46	53	50	6,00	45	46	50	87
7	41	52	77	82	60	59	65	65	16	59	60	62	99
8	62	71	89	93	66	67	71	73	29	82	78	82	5,14
9	85	86	5,01	99	65	63	65	79	44	5,00	95	97	23
10	98	91	01	98	63	58	59	76	44	04	6,02	6,13	25
11	92	88	4,96	93	59	51	48	56	30	4,99	5,90	02	17
12	59	64	80	74	46	49	36	34	09	72	65	5,71	4,96
13	28	31	54	59	37	26	19	18	5,88	46	41	35	76
14	13	03	33	40	26	13	06	02	68	30	21	25	57
15	12	5,89	16	27	13	01	3,96	4,87	50	21	17	17	45
16	18	86	06	19	07	4,90	90	77	44	16	17	21	41
17	23	90	10	19	02	89	81	72	47	22	21	29	42
18	37	6,06	23	26	09	94	85	72	52	37	39	42	51
19	56	26	39	44	23	5,02	93	85	75	52	53	55	67
20	69	39	61	71	44	21	4,06	5,09	6,01	64	67	63	85
21	82	51	75	94	67	48	37	36	16	79	76	76	5,03
22	87	56	85	4,01	75	58	47	45	21	90	80	79	10
23	91	61	96	07	78	64	51	54	22	94	83	82	15
Media	3,54	6,43	4,67	3,71	3,45	5,36	4,32	5,31	5,99	4,62	5,60	5,66	4,89

Il tempo è contato dalla mezzanotte.

Nella figura riportata qui sotto la linea a tratto pieno dà l'andamento diurno ricavato da tutto il quadriennio di osservazioni quale apparisce dall'ultima colonna della tabella precedente. L'ordinata dà la pressione; ogni unità rappresenta un centesimo di millimetro. L'ascissa poi che dinota il

tempo, anzichè in ore è data in angolo orario e vien così ad esser contata dal mezzogiorno. In questo modo è reso più evidente il confronto tra la curva dovuta al sole e quella dovuta alla luna che è espressa allo stesso modo.



L'andamento diurno della pressione vien rappresentato mediante la formola adoperata da Bessel per altri scopi:

$$(1) \quad p = p_m + a_1 \operatorname{sen}\left(A_1 + \frac{2\pi}{T} t\right) + a_2 \operatorname{sen}\left(A_2 + \frac{4\pi}{T} t\right)$$

dove p è la pressione in funzione del tempo t ;

T la durata del periodo diurno;

p_m la pressione media durante questo periodo;

$a_1 a_2 A_1 A_2$ quattro costanti empiriche.

Ho applicata la (1) al caso nostro per esprimere con essa l'andamento diurno medio per tutto l'anno. Ho calcolato le costanti $a_1 a_2 A_1 A_2$ col mezzo dei minimi quadrati facendo concorrere tutti i ventiquattro valori di p .

È risultato

$$a_1 = 0.2222 \quad a_2 = 0.2894 \quad A_1 = 21^\circ.18' \quad A_2 = 141^\circ.13'$$

La (1) diventa così:

$$p = 754.89 + 0.2222 \operatorname{sen}(21^\circ.18' + 15^\circ t) + 0.2894 \operatorname{sen}(141^\circ.13' + 30^\circ t)$$

Per verificare con quanta esattezza detta formola rappresenta il fenomeno, ho ricalcolato per mezzo di essa per tutti i valori di t i corrispondenti valori di p che pongo qui sotto di fronte ai valori osservati.

Ora	Valori osservati	Valori calcolati	Differenza	Ora	Valori osservati	Valori calcolati	Differenza
0	755,15	755,15	0,00	12	754,96	754,99	— 0,03
1	08	07	+ 01	13	76	80	— 04
2	4,99	4,96	+ 03	14	57	61	— 04
3	90	86	+ 04	15	45	46	— 01
4	82	82	00	16	41	38	+ 03
5	81	84	— 03	17	42	40	+ 02
6	87	92	— 05	18	51	50	+ 01
7	99	5,03	— 04	19	67	67	00
8	5,14	13	+ 01	20	85	86	— 01
9	23	20	+ 03	21	5,03	5,03	00
10	25	21	+ 04	22	10	14	— 04
11	17	15	+ 02	23	15	18	— 03

Si vede che l'accordo è soddisfacente, giacchè la divergenza comincia solo ai centesimi di millimetri.

Determinati i valori numerici delle costanti che compariscono in (1), si possono determinare per mezzo di essa gli istanti del giorno in cui hanno luogo la pressione media e le estreme. Gli istanti di pressione media si hanno ponendo

$$(2) \quad a_1 \operatorname{sen}\left(A_1 + \frac{2\pi}{T} t\right) + a_2 \operatorname{sen}\left(A_2 + \frac{4\pi}{T} t\right) = 0$$

e quelli delle pressioni estreme si hanno facendo

$$(3) \quad \frac{dp}{dt} = 0 = a_1 \cos\left(A_1 + \frac{2\pi}{T} t\right) + 2a_2 \cos\left(A_2 + \frac{4\pi}{T} t\right).$$

Ho ottenuto applicando al caso nostro :

Istanti della pressione media

$$t_1 = 2^{\text{h}}.43^{\text{m}} \quad t_2 = 5^{\text{h}}.40^{\text{m}} \quad t_3 = 12^{\text{h}}.38^{\text{m}} \quad t_4 = 20^{\text{h}}.04^{\text{m}}$$

Istanti delle pressioni estreme

$$t_1 = 4.13^{\text{m}} \text{ min.} \quad t_2 = 9.37^{\text{m}} \text{ mass.} \quad t_3 = 16.20^{\text{m}} \text{ min.} \quad t_4 = 23.02^{\text{m}} \text{ mass.}$$

Volendo fare le stesse determinazioni mese per mese, ho supposto che per brevi intervalli a destra ed a sinistra degli istanti che si cercano la

pressione vari uniformemente. Gli istanti di pressione media sono stati così calcolati, mediante una semplice interpolazione. Gli istanti poi delle pressioni estreme sono stati determinati calcolando quei punti verso cui convergono il ramo ascendente e discendente della curva. Questa stessa via però non ho potuto seguire per l'istante del massimo notturno, giacchè a mezzanotte l'andamento presenta una discontinuità dovuta all'andamento annuo; laonde ho messo nel seguente quadro quell'istante che figura nei valori orari.

Ore della pressione media.

Gennaio	3 ^h . 05 ^m	7 ^h . 37 ^m	12 ^h . 10 ^m	18 ^h . 54 ^m
Febbraio	3. 25	6. 15	12. 38	20. 20
Marzo	3. 42	6. 10	12. 30	20. 26
Aprile	3. 13	6. 24	12. 12	20. 00
Maggio	2. 24	5. 30	12. 07	20. 03
Giugno	3. 00	4. 12	12. 17	20. 33
Luglio	3. 25	3. 40	12. 14	20. 51
Agosto	—	—	12. 11	20. 49
Settembre	2. 40	5. 54	12. 29	19. 55
Ottobre	2. 23	7. 08	12. 23	19. 50
Novembre	3. 05	7. 00	12. 02	19. 30
Dicembre	3. 30	7. 24	12. 08	20. 14
Anno	3. 07	6. 10	12. 29	20. 30

Ore delle pressioni estreme.

	1° Min.	1° Mass.	2° Min.	2° Mass.
Gennaio	5 ^h . 33 ^m	10 ^h . 34 ^m	14 ^h . 20 ^m	23 ^h . 00 ^m
Febbraio	4. 36	10. 43	15. 23	0. 00
Marzo	4. 36	9. 18	16. 23	0. 00
Aprile	4. 35	9. 23	16. 28	0. 00
Maggio	4. 18	8. 08	16. 44	23. 00
Giugno	3. 27	8. 04	16. 22	23. 00
Luglio	3. 32	8. 00	17. 14	0. 00
Agosto	4. 00	9. 35	17. 43	0. 00
Settembre	4. 48	9. 28	16. 11	23. 00
Ottobre	4. 00	9. 34	15. 44	23. 00
Novembre	5. 38	9. 40	15. 30	23. 00
Dicembre	5. 23	10. 26	15. 15	0. 00
Anno	4. 30	9. 35	16. 37	23. 35

Molto si è discusso sulla causa delle oscillazioni barometriche diurne e non ancora si è potuto indicare una spiegazione che dia conto completo di tutto il fenomeno. È fuori dubbio però che dette oscillazioni non possono riguardarsi come effetto della marea solare, come meglio si intenderà confrontandole colle oscillazioni barometriche del giorno lunare.

Andamento barometrico nel giorno lunare.

Per determinare l'andamento barometrico nel giorno lunare, ho adoperato tutte le osservazioni eseguite dal primo novilunio del 1891 all'ultimo novilunio del 1894, ed ho calcolato separatamente su ciascuno dei 49 mesi lunari che corrono tra queste due epoche. Ho diviso il giorno lunare in venticinque ore quale è circa la sua durata. I risultati son questi:

Ora	Anno	1891	1892	1893	1894	Media
0		755.376	753.440	754.595	755.431	754.711
1		375	438	585	417	704
2		371	437	571	411	699
3		365	436	555	401	689
4		356	402	536	387	670
5		349	370	531	382	658
6		355	382	539	381	664
7		361	391	543	370	666
8		369	392	553	377	673
9		400	393	565	385	684
10		414	397	587	393	698
11		410	394	603	406	703
12		407	398	606	412	706
13		383	408	597	396	696
14		370	411	597	391	692
15		359	412	587	387	686
16		342	406	581	387	679
17		318	373	587	391	667
18		321	372	607	395	674
19		329	363	612	422	681
20		343	379	612	431	691
21		359	381	610	434	696
22		366	382	607	438	698
23		371	389	611	463	708
24		380	388	611	465	711

Il tempo è contato dalla culminazione superiore.

Nella figura questo andamento è rappresentato dalla linea tratteggiata. Sull'ordinata ogni unità rappresenta il millesimo di millimetro. L'ascissa dà l'angolo orario.

Da questi calcoli ricavo i seguenti risultati:

I. L'andamento barometrico nel giorno lunare presenta un'oscillazione doppia. I due massimi hanno luogo verso l'ora delle due culminazioni: i due minimi verso l'ora della levata e del tramonto della luna.

II. L'ampiezza di questa oscillazione raggiunge il valore di $0^{\text{mm}}.053$. Confrontando questi risultati con quelli ottenuti in altri luoghi, trovo in primo luogo che essi sono più decisivi di quelli esposti dal Börn-

stein (1) per le città di Amburgo (5 anni di osservazioni), Vienna (5 anni di oss.), Berlino (5 anni di oss.), Keitum (15 anni di oss.), i quali poi sono anche discordi fra loro da una stazione all'altra, e sono anche discordi da un anno all'altro quelli della medesima stazione. L'autore citato ha dovuto concludere che nulla si può ricavarne di netto intorno all'andamento barometrico nel giorno lunare, che dal complesso di tutte le osservazioni da lui riportate par che risulti di una sola oscillazione con un sol massimo ed un sol minimo in tempi non ben determinati.

Invece risultati più concordi con quelli da me sopra riferiti sono stati ottenuti dal Sabine (2) a Sant' Elena (17 mesi di osservazioni biorarie e 3 anni di oss. orarie), dall'Elliot (3) a Singapore (5 anni di osserv. parte orarie e parte biorarie), e dal Neumayer (4) a Melbourne (5 anni di osserv. orarie).

Per conto mio posso confermare che l'oscillazione doppia coi caratteri succennati risulta nei miei calcoli così spiccata, da essersi ancora separatamente rivelata in moltissimi dei 49 mesi di osservazioni da me adoperati.

Altezza della marea atmosferica.

La regolarità con cui mi si son presentate le oscillazioni barometriche lunari, mi ha indotto a tentare un calcolo per determinare l'influsso che ha il movimento diurno della luna sull'altezza dell'atmosfera, determinare cioè l'altezza della marea atmosferica. A tal uopo potrebbe servire la formola

$$(4) \quad z = a \lognat \frac{p_0}{p}.$$

L'altezza della marea si otterrebbe eseguendo la variazione

$$\delta z = a \frac{\delta p_0}{p_0}.$$

La (4) però ha il torto di dare per l'altezza atmosferica un valore troppo piccolo. Volendo dei risultati attendibili, è meglio di introdurre per l'altezza dell'atmosfera un dato più positivo. Alcuni han creduto di determinare questa altezza calcolandola come la distanza massima a cui possono giungere le molecole dell'aria supponendole dotate alla superficie del suolo della propria velocità molecolare. Siccome per l'aria questa velocità è data da

$$v = 485^m \sqrt{\frac{T}{273}}$$

(1) Börnstein, Meteorologische Zeitschrift, 1891, pag. 161.

(2) Philosophical Transactions, London, 1847, I.

(3) Ibid. 1852, I.

(4) Proc. Roy. Soc. London XV.

essa alla temperatura di 0° sarà di 485 m. La distanza a cui può giungere una molecola con questa velocità è $\frac{(485)^2}{2g}$ ossia circa 12 chilometri. Questo valore però è troppo piccolo anch'esso. Invece il Bradley dall'osservazione dei crepuscoli e dell'aurora, ha ammesso per altezza atmosferica il valore di 115 chilometri, ed il Liais ha spinta questa cifra sino ai 330 km.

Dall'osservazione poi delle stelle filanti si è ammesso il valore di 300 km.

Ritenendo quest'ultimo valore in cifra tonda, ho calcolato l'altezza atmosferica colla relazione

$$(5) \quad \frac{\delta z}{300.000} = \frac{\delta p_0}{p_0}$$

la quale a differenza della costante a riproduce la legge indicata dalla (4).

Nella seguente tabella do il valore di δp_0 calcolato sull'ultima colonna della tabella precedente, e quello di δz calcolato colla (5).

Ore	δp_0 mm	δz m	Ore	δp_0 mm	δz m
0	+ 0.027	10.8	13	+ 0.012	+ 4.8
1	+ 0.020	8.0	14	+ 0.008	+ 3.2
2	+ 0.015	6.0	15	+ 0.002	+ 0.8
3	+ 0.005	2.0	16	- 0.005	- 2.0
4	- 0.014	- 5.6	17	- 0.017	- 6.8
5	- 0.026	- 10.4	18	- 0.010	- 4.0
6	- 0.020	- 8.0	19	- 0.003	- 1.2
7	- 0.018	- 7.2	20	+ 0.007	+ 2.8
8	- 0.011	- 4.4	21	+ 0.012	+ 4.8
9	0.000	0.0	22	+ 0.014	+ 5.6
10	+ 0.014	+ 5.6	23	+ 0.024	+ 9.6
11	+ 0.019	+ 7.6	24	+ 0.027	+ 10.8
12	+ 0.022	+ 8.8			

Da questo quadro si vede che la massima differenza tra l'alta e bassa marea lunare è di circa 21 metro. Su questi valori bisognerebbe operare la correzione dovuta all'alterazione di peso che il movimento della luna produce sull'aria atmosferica, ma il grado di esattezza non ammette questa precisione.

Calcolato l'effetto della marea lunare, si può dedurne quello della marea solare ricordando che esso è circa la metà. Se ne ricava che l'ampiezza dell'oscillazione barometrica dovuta al sole è di 0,0265 mm. e l'altezza della marea solare raggiunge così un massimo di 10 metri. Ciò porterebbe ai tempi delle sigizie un massimo di circa 31 metro per la nostra latitudine.