

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCV.

1908

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XVII.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1908

Geografia fisica. — *La marea nel Mediterraneo*. Nota di
LUIGI DE MARCHI, presentata dal Corrispondente LEVI-CIVITA.

1. È noto che nei mari chiusi, o in comunicazione angusta coll'oceano, l'attrazione luni-solare o non determina marea sensibile, come nei laghi, o determina una marea propria, la quale nei mari comunicanti coll'Oceano, è indipendente, per ampiezza e fase, da quella che si genera nella regione finitima dell'oceano. Gli studi del generale v. Sterneck⁽¹⁾ sulla marea nel Mediterraneo dimostrerebbero anzi che questo mare, il quale è diviso da rilievi del fondo in bacini distinti, presenta maree indipendenti in ciascun bacino, cosicchè si può parlare di maree distinte dell'Adriatico, del Jonio, del Tirreno, del mare ligure e del Mediterraneo occidentale. Lo stesso autore avrebbe accertato inoltre che in ogni bacino l'onda marea si originerebbe nella regione più profonda di ogni bacino, donde irradierebbe come onda progressiva verso le coste. Egli spiegherebbe, in via di pura ipotesi, tale fatto nel seguente modo:

Immaginiamo la massa d'acqua divisa fino al fondo in piccoli prismi verticali, d'altezza quindi differente. L'azione attrattiva della luna e del sole opera, nella sua componente verticale, in senso contrario alla gravità, e quindi il peso specifico dell'acqua diminuisce periodicamente con la posizione dei due astri. Per effetto di questa diminuzione di peso specifico i prismi si allungheranno e si accorceranno periodicamente e la variazione d'altezza sarà proporzionale all'altezza stessa di ciascuno, e quindi sarà massima dove il mare è più profondo. - Per la perfetta regolarità con cui varia l'azione attrattiva, le piccole oscillazioni si sommano, finchè raggiungono un'ampiezza costante. Nascono quindi delle oscillazioni, che si propagano in tutti i sensi come onde, cosicchè alla fine tutta la superficie del mare entra in un moto oscillatorio regolare e periodico, che noi osserviamo come flusso e riflusso -.

Questa spiegazione del venerando maestro, se a prima vista si presenta come la più spontaneamente plausibile, a più maturo esame presenta delle difficoltà non facilmente eliminabili. Anzitutto la componente verticale del-

(¹) Robert v. Sterneck. *Die Höhe des Mittelwasser bei Ragusa und die Ebbe und Flut im Adriatischen Meere* (Mittheil. d. k. u. k. Militärgeogr. Institutes, XXII. Band. Wien 1904). Vedi anche l'Appendice I di G. P. Magrini alla traduzione di Darwin, *La marea*, Torino 1905). Le maree dei bacini del Mediterraneo sono state studiate recentemente anche da R. A. Harris nel suo grande *Manual of Tides* (U. S. Coast and Geodetic Survey) Washington 1901 e 1904, e dal prof. Grablovitz (*Neptunia*, vol. XX e XXII, Suppl. Venezia, 1905 e 1907). Ambedue le considerano come tante sesse uninodali indipendenti.

l'attrazione luni-solare è al massimo dell'ordine di $\frac{1}{10.000.000}$ della gravità, e quindi non può determinare che variazioni di livello affatto trascurabili, dell'ordine dei decimi di millimetro in una colonna d'acqua di 4000 m. Lo Sterneek, a cui naturalmente si presentò questa obbiezione, ammette un rafforzamento progressivo di queste oscillazioni, dovuto al periodico ripetersi della forza che le determina; ma tale rafforzamento è ammissibile solo nel caso che il periodo della forza, e quindi dell'onda forzata, risponda a uno dei periodi d'oscillazione propria della massa d'acqua, cioè a una sessa del bacino che si considera, e non è ammissibile che bacini di forma, dimensione e profondità così diverse, come i bacini del Mediterraneo, posseggano una medesima sessa (1). In secondo luogo, secondo la teoria accennata, i bacini più profondi dovrebbero presentare maree più ampie, mentre è noto che le maree del Tirreno e del Jonio sono assai più piccole di quelle dell'Adriatico. Finalmente le maree nei diversi bacini dovrebbero essere quasi contemporanee, mentre è noto che lo stabilimento del porto nel Tirreno è in ritardo di circa sei ore su quello del Jonio.

2. A me pare che la spiegazione delle apparenti anomalie della marea nel Mediterraneo debba ricercarsi nella conformazione del fondo, che devia la corrente provocata dalla componente orizzontale dell'attrazione luni-solare.

Consideriamo p. es. il bacino dell'Adriatico, il cui fondo è inclinato verso sud fino alle coste albanesi, per rialzarsi poi nella barriera subacquea che attraversa il canale d'Otranto. Quando la luna (prescindo per semplicità dal sole) s'avvicina al meridiano, essa richiama l'acqua di questo mare verso sud, e dopo un certo tempo, che dipenderà dal movimento preesistente, determinerà una corrente in quella direzione e che si estende sino al fondo. Questa corrente viene a battere contro il fondo a contropendio, che costituisce il fianco nord della barriera; costretta così a deviare verso l'alto, formerà rigurgito, e determinerà quindi un innalzamento del livello. Questo rigurgito incomincerà anzi prima che incominci il contropendio e il massimo sollevamento di livello si verificherà a nord della barriera, in vicinanza della linea di massima profondità. Esso è, nel caso concreto, maggiore dove maggiore è la profondità, cioè più verso le coste albanesi, dove il fondo scende fino quasi a 1600 m., perchè ivi la corrente più profonda determina il sollevamento di una maggiore massa d'acqua. Quando l'astro si allontana, la corrente, e quindi il rigurgito, diminuiscono e il livello si abbassa, per rialzarsi quando l'astro si avvicina al meridiano opposto, e così via. Si ha così, presso il punto di massima profondità, se non proprio su di esso, un'oscillazione

(1) Questa obbiezione fondamentale si oppone naturalmente anche alle teorie di Harris e Grablovitz.

periodica, che naturalmente si propaga tutto all'intorno, secondo le leggi che vedremo in seguito. Un rigurgito analogo si formerà sul lato meridionale del profondo bacino del Jonio, che essendo pure orientato da N a S presenterà una marea presso a poco contemporanea a quella dell'Adriatico.

3. Il Tirreno è un bacino imbutiforme chiuso da tutte le parti, eccetto che da WSW, da pareti relativamente ripide, almeno sotto 1000 m., con un ampio fondo pianeggiante sotto 3000 m. e una massima profondità di 3700 (a mezza strada tra Ostia e Palermo). Sul lato WSW si apre un ampio canale, tra la Sardegna e l'Africa, nel quale si eleva però un rialto, fino a 800-1000 m. di profondità, a SE della Sardegna, rialto che divide il profondo bacino del Tirreno dal bacino non meno profondo del Mediterraneo occidentale. Anche nel bacino tirrenico, chiuso a sud e a nord, l'attrazione lunisolare non può determinare una corrente sensibile quando gli astri sono nel corrispondente zona meridiana, tanto più che il bacino ha un'ampiezza assai minore di quella del Jonio. Non si avrà quindi una marea sensibile, contemporanea a quella di questo mare e dell'Adriatico. Ma, quando l'astr. attraente si sposta verso ovest e viene a collocarsi nella direzione del canale di comunicazione del Tirreno col Mediterraneo occidentale, esso può determinare una corrente di velocità sensibile nella direzione stessa, lungo la quale l'acqua ha più libero deflusso. Tale corrente, deviata verso l'alto dalla barriera profonda che attraversa il canale stesso, e da tutta la controscarpa che da essa scende al fondo del bacino, determinerà un rigurgito, il culmine del quale cadrà alquanto ad E del punto di massima profondità. Quest'alta marea è minore di quella del Jonio, e ancor più di quella dell'Adriatico, perchè il canale è più ampio e profondo, e quindi il rigurgito è minore, perchè la scarpa interna del rialto è meno ripida di quella della barriera adriatica, e perchè la massa d'acqua rigurgitata può distendersi in un bacino molto più ampio. Essa poi si formerà molto in ritardo su quella degli altri due mari, perchè risponde a una posizione molto più occidentale dell'astro perturbatore, e precisamente quasi al suo tramonto invece che al suo passaggio al meridiano. Così si spiega il fatto, a prima vista sorprendente, che gli stabilimenti del porto sulle coste tirrene siano di circa sei ore in ritardo su quelli del Jonio e dell'Adriatico.

4. Nel mare ligure la marea è alquanto in anticipazione su quella del Tirreno, il che proverebbe che essa è piuttosto una derivazione della marea del bacino occidentale, col quale il mare ligure si trova in libera comunicazione, mentre non comunica col Tirreno che per canali angusti e poco profondi. Nel Mediterraneo occidentale abbiamo una condizione analoga a quella del Tirreno. Una profonda fossa centrale, tra il rilievo sardo-corso e il rilievo balearico, si estende a dolce pendio verso ovest nell'ampio canale tra le Baleari e l'Africa. Un rilievo subacqueo tra Almeria (Spagna) e Melilla (Africa) separa quest'ampio bacino dal piccolo bacino di Ceuta nell'imme-

diata vicinanza dello stretto di Gibilterra, la cui soglia divide quest'ultimo bacino dall'Oceano. Anche nel bacino del Mediterraneo occidentale la massima corrente si determinerà quando la luna è in posizione occidentale e quindi ancora con forte ritardo sulla marea del contiguo mar Jonio, da cui il bacino stesso è diviso dall'ampio bassofondo siculo-tunisino. Nel piccolo bacino di Ceuta invece, la marea è regolata da quella dell'Atlantico, essendo lo stabilimento del porto di circa 2^b, come nell'Oceano presso lo stretto.

5. Anche il forte ribasso di marea che si verifica nel Mare di Levante, dove lo stabilimento del porto è da 8 a 10 ore, si potrebbe spiegare col fatto che esso è orientato in senso E-W ed aperto verso W, cosicchè l'attrazione lunare non ha il suo massimo effetto che quando la luna è ad occidente. Nell'Egeo poco profondo si avrebbe invece una semplice onda di propagazione dal Mar Jonio attraverso il mar di Creta (1).

6. Così in ogni bacino, eccetto quello presso lo stretto, si forma, in ore diverse, un rigurgito il cui culmine sarà non molto lontano (se non proprio coincidente) dal punto di massima profondità. Coll'allontanarsi dell'astro il livello torna ad abbassarsi, per rialzarsi nuovamente quando l'astro si avvicina al meridiano opposto, e così via. Si ha così un'oscillazione periodica che dal punto o dalla regione di massima profondità si propagherà tutto all'interno entro ogni bacino, e anche da un bacino all'altro. Per studiare le leggi di questa propagazione abbiamo i dati raccolti dallo Sterneck per l'Adriatico, i quali danno un'idea, certo non lontana dalla realtà, delle leggi generali del fenomeno.

Se la propagazione avvenisse per semplice progressione in acqua non molto profonda, la velocità dovrebbe essere data approssimativamente dalla formola $V = \sqrt{gh}$. Invece la carta dello Sterneck (2) mette in luce tre fatti che sarebbero in aperta contraddizione con questa legge, cioè:

1° La velocità media di propagazione è assai minore di quella ri-

(1) Il prof. Grablovitz spiega la marea nel Jonio e nel Mar di Levante, compreso l'Egeo, come un moto di altalena attorno a un asse che passa per La Canea, dove una breve serie di osservazioni da lui promosse avrebbe (non è detto con quale metodo) trovata una marea nulla (m. c.). Così pure la marea di tutto il Mediterraneo occidentale compreso il Tirreno e il bacino di Ceuta sarebbe un'oscillazione attorno ad un asse da Algeri a Porto Vendres, e quella dell'Adriatico un'altalena attorno ad un asse da Giulianova a Zara Vecchia. Nell'Adriatico le osservazioni austriache lungo il litorale dalmato e nostre (*Ricerche lagunari* di Magrini, De Marchi e Gnesotto. *Osservazioni mareometriche* nel 1906 e 1907, Venezia 1908), proverebbero che si tratta di una vera propagazione, e che a Zara Vecchia la marea è irregolare, ma sensibilissima. Quanto ai due bacini del Mediterraneo parmi che se l'oscillazione è dovuta all'attrazione lunare, tendendo, come il prof. Grablovitz dice, la superficie a disporsi secondo l'ellissoide ad essa rispondente, l'oscillazione dovrebbe essere non in senso W-E, ma N-S. Noto poi che le due linee nodali sarebbero situate, specialmente quella del bacino occidentale, troppo asimmetricamente, dividendo i bacini stessi in parti sensibilmente diverse.

(2) Riprodotta in Darwin. *La marea*, trad. Magrini. Appendice I, pag. 316.

spondente alla profondità nei vari punti, secondo la formola accennata. Dal centro di propagazione, presso le coste albanesi, al porto di Malamocco, lungo l'asse del mare, il ritardo dell'alta marea è di circa 9^h , ed essendo la distanza di circa 600 chm., la velocità media è di $18^m/s$, rispondente secondo la formola \sqrt{gh} a una profondità media di circa 33 m., assai minore della reale. Se poi, come sarebbe più naturale, la velocità si calcolasse normalmente alle isorachie, essa sarebbe in vicinanza del centro molto minore.

2° La velocità stessa invece di diminuire verso nord, col diminuire della profondità, cresce rapidamente. Ciò appare dalla tavola dello Sterneck, dove la distanza tra due isorachie successive, d'ora in ora, va crescendo colla distanza dal centro.

3° La velocità, invece di mantenersi massima lungo l'asse di maggiore profondità, va rapidamente crescendo lungo le coste dalmato-istriane, cosicchè le isorachie, che presso l'origine hanno forma di ogive concentriche, si distendono poi in curve quasi rettilinee, in direzione nord-sud. Si può dire con frase militare che la linea d'onda si distende compiendo una conversione a sinistra.

7. I primi due fatti si completano. Essi ci dicono che la velocità è minore della teorica presso l'origine, cioè nelle prime ore di propagazione, ma tende in seguito ad accostarsi ad essa. Nel golfo di Venezia, secondo la carta di v. Sterneck, la propagazione avviene quasi esattamente da est ad ovest⁽¹⁾, ed impiega da Pola a Chioggia, cioè su una distanza di circa 110 chm., circa $1^h \frac{1}{2}$, che dà una velocità media di $21^m/s$. Questa corrisponde, secondo la formola, a una profondità media di 44 m., che non si scosta molto dalla reale in quella sezione.

Non è difficile spiegarsi la velocità molto minore nelle prime ore. La corrente di flusso si mantiene infatti, per inerzia, un certo tempo dopo il culmine di marea, pur rallentandosi progressivamente. Si mantiene quindi il rigurgito contro il pendio della barriera subacquea, rigurgito che tende a mantenere il livello sovrelevato presso il punto di massima profondità, alimentando con una corrente ascendente il lato posteriore della semi-onda positiva e mantenendone quindi indietro il centro di gravità.

Per la stessa ragione il ritardo dell'alta marea sulla fase di massima attrazione astrale dovrà essere in generale alquanto maggiore del ritardo della bassa sulla fase di minima, perchè la corrente di riflusso, alimentata in parte dal Jonio, darà origine a un moto discendente lungo la scarpa del rilievo, minore di quello ascendente rispondente alla corrente di flusso. Se ciò è,

(¹) Tale illazione, basata su pochi dati, verrebbe confermata dalle nostre osservazioni mareometriche lungo il litorale veneto, dalle quali risulterebbe che la marea arriva quasi contemporaneamente su tutto il litorale da Faro di Piave Vecchia a Brondolo (Vedi *Ricerche lagunari, — Osservazioni mareometriche lungo il litorale e in laguna nel biennio 1906-07. Venezia, 1908.*)

l'intervallo fra l'alta e la bassa marea dovrà essere minore dell'intervallo fra la bassa e l'alta. Ora nelle nostre osservazioni mareometriche lungo il litorale veneto e in quelle di Ragusa del 1906 (1) si avrebbe appunto accertato il fatto che l'intervallo fra l'alta e la bassa marea diurne fu in tutte le stazioni di regola e spesso sensibilmente minore di 6^h.12^m, quarto del giorno lunare. Su venti osservazioni, fatte al porto di Malamocco, della prima onda semidiurna questo intervallo fu in media di 5^h.19^m. Anche questo fatto, che pareva in aperta contraddizione colla legge, secondo la quale un'onda che sale un pendio si rovescia sul davanti accentuando la pendenza della fase crescente e diminuendo quella della fase decrescente, troverebbe così una spiegazione.

8. Più difficile è spiegare il terzo fatto. In parte esso può essere dovuto alla circostanza, che la sponda dalmata è più ripida dell'italiana, cosicchè l'onda si propaga lungo di essa con maggiore velocità. Ma la rapidità della conversione a sinistra è tale, ch'io non credo che tale diversità di conformazione delle due coste, limitata d'altronde a una zona costiera molto ristretta, basti a giustificarla. Inoltre, quando l'ala destra dell'onda penetra nel bassofondo del golfo di Venezia, dovrebbe venire rallentata, e la fronte tornare a incurvarsi colla convessità verso NW. Invece, accettando le isorachie di Sterneck, noi abbiamo una fronte che nelle ultime ore si mantiene quasi rettilinea su profondità molto diverse. Forse bisogna attribuire il fatto allo spostamento della luna e del sole verso ovest, spostamento che l'onda di marea seguirebbe, tendendo a disporsi lungo il meridiano.

9. Così si spiegherebbero tutte le particolarità della formazione e della propagazione della marea nel Mediterraneo, e in particolare nell'Adriatico. Naturalmente non espongo questa teoria che come una semplice ipotesi, la quale presenterebbe, a mio modesto avviso, sulle altre il vantaggio di tener conto della morfologia locale, che le altre trascurano completamente, e che deve avere sulle correnti di marea la stessa influenza che ha sulle correnti aeree la morfologia del rilievo continentale. Le grandi aree di alta pressione, che si formano lungo i rilievi montuosi battuti dal vento, col massimo a qualche distanza dalla cresta, rappresenterebbero un fenomeno di rigurgito analogo a quello ch'io suppongo prodotto dai rilievi subacquei nelle correnti prodotte dall'attrazione luni solare.

Mineralogia. — *Ulteriori osservazioni intorno alle condizioni di formazione dei carbonati di rame naturali.* Nota di FEDERICO MILLOSEVICH, presentata dal Socio G. STRUEVER.

Questa Nota sarà pubblicata nel prossimo fascicolo.

(1) *Mittheil. d. milit.-geogr. Institutes*, XXVI, Bd. Vien, 1907. Vedi discussione in *Ricerche lagunari*, citate. Appendice.