

259 La forza attrattiva esercitata dai corpi celesti non si limita solo al corpo della terra nel suo complesso, ma si estende anche a tutte le parti che lo compongono. Tutti i corpi, che noi vediamo sulla superficie della terra, e che da questo nostro pianeta derivano la loro pesantezza e in particolare il loro peso, non sono solo attratti da essa, ma sono attratti anche dal sole e da tutti gli altri corpi celesti in una misura che varia a seconda della grandezza e della distanza di questi corpi. Ora è evidente che la forza con cui un corpo, una pietra per esempio, è attratta dalla terra, deve essere incomparabilmente piú grande delle forze con cui questo stesso corpo, data la loro grande distanza, è attratto dal sole, dagli altri pianeti e dalla luna. Un simile corpo infatti dista dal centro della terra per la lunghezza di un raggio terrestre; la sua distanza dalla luna sarà quindi 60 volte maggiore, per cui, se la luna fosse grande come la terra, la sua attrazione verso questo corpo sarebbe 60 volte 60 ovverosia 3600 volte piú piccola dell'attrazione della terra; ma la luna è circa 70 volte piú piccola della terra, ne segue che la sua forza attrattiva nei confronti di questo corpo, posto sulla superficie della terra, sarà ancora 70 volte 3600 cioè 252 000 volte piú piccola del peso che questo stesso corpo ha alla superficie della terra. Cosí il sole, quantunque sia parecchie migliaia di volte piú grande della terra, è circa 24 000 volte piú lontano di noi dal centro di essa; quindi l'attrazione da esso esercitata su una pietra è estremamente piccola in rapporto alla sua pesantezza. Vostra

Altezza si rende quindi conto come la pesantezza dei corpi terrestri, che non è altro che la forza con cui essi sono attratti verso la terra, non possa essere sensibilmente alterata dall'attrazione degli altri corpi celesti. Ma per quanto piccola sia questa attrazione, ne risulta un fenomeno molto notevole che ha sempre tormentato moltissimo i filosofi: cioè *il flusso e il riflusso* del mare. Se ne parla così spesso nelle ordinarie conversazioni, che è divenuto quasi necessario averne una certa conoscenza. È quindi mia intenzione presentare a Vostra Altezza, prima una descrizione particolareggiata di questo singolare fenomeno, e poi una spiegazione delle cause che lo producono. Inizio dunque con la descrizione del fenomeno che è conosciuto sotto il nome di flusso e riflusso del mare. Si sa che la superficie della terra è per la maggior parte ricoperta dalle acque dell'oceano. Questo grande ammasso di acque è ben diverso dai fiumi e dai laghi. Questi ultimi, a seconda delle diverse stagioni dall'anno, contengono più o meno acqua; nel mare invece la quantità di acqua resta all'incirca sempre la stessa. Si osserva però che l'acqua del mare si alza e si abbassa alternativamente per due volte al giorno con grande regolarità. Se, per esempio, in un porto, l'acqua si trova in questo momento alla sua massima altezza, essa comincerà ben presto ad abbassarsi e continuerà a diminuire per 6 ore fino a raggiungere la sua minima altezza. In seguito essa ricomincerà di nuovo ad alzarsi fino a pervenire in 6 ore alla sua massima altezza. E si abbasserà e si innalzerà di nuovo, sempre con questo ritmo, in modo che nello spazio di 24 ore circa, l'acqua si alzerà e si abbasserà 2 volte, pervenendo alternativamente alla massima e alla minima altezza. Questo alternarsi dell'acqua si chiama *flusso e riflusso del mare*; e in particolare: il *flusso* segna il tempo in cui l'acqua monta o si innalza, e il *riflusso* quello in cui l'acqua si abbassa o diminuisce. Flusso e riflusso insieme si chiamano anche *marea*. È dunque su questo alterno movimento in alto e in basso dell'acqua del mare che avrò l'onore di intrattenere Vostra

260

261

Altezza. Si osserva anzitutto che la differenza fra l'elevazione e l'abbassamento varia secondo la luna. Durante le lune piene e quelle nuove l'acqua si innalza piú che non durante i quarti di luna, mentre nel periodo degli equinozi, cioè nei mesi di marzo e di settembre, questo movimento del mare raggiunge il suo massimo. Inoltre si nota una grande differenza a seconda della disposizione delle coste. In qualche luogo il flusso non supera i pochi piedi, mentre in altri si innalza fino a raggiungere 40 piedi e piú, come nel porto di Bristol in Inghilterra.

262 Si deve ancora osservare che questo fenomeno si nota soprattutto nell'oceano, dove l'acqua ha una grande estensione, mentre nei mari limitati e chiusi, come il Mar Baltico e il Mediterraneo, esso è poco considerevole. L'intervallo tra il flusso e il riflusso seguente non è di 6 ore precise, ma di 6 ore e 11 minuti, in modo che l'indomani gli stessi cambiamenti non corrispondono alle stesse ore del giorno precedente, ma ritardano di circa tre quarti d'ora; ed è solo dopo 30 giorni che essi si riproducono alle stesse ore, quando è ormai trascorso esattamente il tempo di una rivoluzione lunare, il tempo cioè intercorso fra una luna nuova e la successiva.

26 settembre 1760

*Sulle differenti opinioni dei filosofi a proposito  
del flusso e riflusso del mare*

Quando l'acqua del mare diviene piú alta, non si deve credere che essa si gonfi per una sua qualità interna, come per esempio il latte si gonfia quando è posto sul fuoco. L'innalzamento del mare è invece determinato da un accrescimento reale dell'acqua che da altre parti si dirige verso quel punto. È una vera e propria corrente, chiaramente visibile sul mare, che porta le acque nei luoghi dove si verifica il flusso. Per meglio rendersi conto di questo fatto si deve considerare che nella grande estensione dell'oceano vi sono sempre dei luoghi in cui l'acqua è bassa, e altri in cui è alta, ed è dai primi che l'acqua è trasportata in questi ultimi. Dunque quando il livello dell'acqua s'innalza, vi è sempre una corrente che porta l'acqua da altri luoghi, dove l'acqua sta abbassandosi. È dunque un errore credere, come fanno alcuni autori, che durante il flusso del mare la massa totale dell'acqua si accresca e che essa diminuisca durante il riflusso. La massa o il volume del mare rimane sempre lo stesso, ma per un movimento di reciproca sostituzione l'acqua è alternativamente trasportata da certe regioni in altre; e quando in certe regioni l'acqua è alta, vi sono certamente luoghi in cui essa è bassa, in modo che il suo accrescimento in certi luoghi è esattamente eguale alla diminuzione in certi altri. Questi sono i fenomeni del flusso e riflusso del mare di cui gli antichi filosofi hanno invano cercato di scoprire la causa. Il grande Aristotele ne fu talmente sorpreso, quando si trovava con Alessandro il Grande nelle Indie Orientali, che volle seguire la ritirata del mare

263

264 durante il riflusso; ma sorpreso dall'improvviso ritorno delle acque nel flusso successivo, annegò, e così non si son potute sapere le speculazioni che probabilmente fece in quella funesta esperienza. Keplero, che pure fu un grandissimo astronomo e l'ornamento della Germania, credeva che la terra, come d'altronde tutti gli altri corpi celesti, fosse un animale vivente, e considerò il flusso e riflusso del mare come l'effetto della sua respirazione. Secondo questo filosofo, gli uomini e le bestie erano come insetti o pulci che si nutrivano sulla pelle del grande animale. Vostra Altezza vorrà dispensarmi dal confutare questa bizzarra opinione. Descartes, il grande filosofo francese che ha cercato di introdurre più luce nella filosofia, osservò che il flusso ed il riflusso del mare si regolavano soprattutto sul movimento della luna, cosa che incontestabilmente era una grandissima scoperta, quantunque gli antichi avessero già sospettato il legame intercorrente fra questi due fenomeni. Infatti se l'alta marea o flusso si verifica oggi a mezzogiorno, il mare raggiungerà il suo punto più basso alle 6 e 11 minuti del pomeriggio, salirà di nuovo fino a raggiungere il suo punto più alto a 22 minuti dopo la mezzanotte, e si abbasserà ancora fino alle 6 e 33 minuti del mattino dell'indomani, e l'alta marea successiva si verificherà tre quarti d'ora dopo mezzogiorno in modo che ogni giorno le varie maree ritarderanno di tre quarti d'ora nei confronti delle precedenti. Poiché la stessa cosa si verifica nel movimento della luna, che s'innalza sempre con un ritardo di tre quarti d'ora sulla luna del giorno precedente, c'era veramente da pensare che le maree seguissero il corso della luna. Se l'alta marea avviene alle 3 del pomeriggio, in un giorno di luna nuova, si può essere sicuri che anche per il futuro l'alta marea arriverà esattamente tutti i giorni di novilunio alle 3 del pomeriggio, e che per tutti i giorni seguenti ritarderà regolarmente di tre quarti d'ora. Inoltre non soltanto il tempo in cui si verifica ogni flusso e riflusso segue esattamente la luna, ma anche la portata delle maree, che è variabile, è in

265

stretta relazione con tale astro. Le maree sono ovunque piú forti dopo i noviluni o dopo i pleniluni, quando l'elevazione dell'acqua raggiunge i piú alti valori, mentre è dopo il primo e ultimo quarto di luna che l'acqua, durante il flusso, raggiunge le altezze piú piccole. Questa armonia intercorrente fra le maree e il movimento della luna basta indubbiamente a farci concludere che la principale causa del flusso e del riflusso del mare deve essere cercata nella luna. Descartes, per esempio, credeva che la luna, passando al di sopra di noi, premesse l'atmosfera che circonda la terra e che l'aria pressasse a sua volta sull'acqua, facendola abbassare. In tal caso però sarebbe stato necessario che l'acqua fosse bassa nei luoghi sotto i quali si fosse trovata la luna e che lo stesso effetto si producesse 12 ore piú tardi durante la successiva marea; ma è proprio quello che non avviene. Inoltre la luna è troppo lontana dalla terra e l'atmosfera troppo bassa perché la luna possa venirne in contatto. Ma se anche la luna o qualche altro gran corpo passasse attraverso l'atmosfera non per questo essa ne sarebbe pressata, e meno ancora il mare risentirebbe qualche cosa di questa pretesa pressione. Questo sforzo di Descartes per spiegare il flusso e il riflusso del mare non ha dunque avuto successo; ma la relazione tra questo fenomeno e il movimento della luna, che quel filosofo aveva cosí bene messo in luce, ha permesso ai suoi successori di impiegare piú felicemente i lumi della loro intelligenza. Ma di questo avrò l'onore di parlare prossimamente a Vostra Altezza.

266

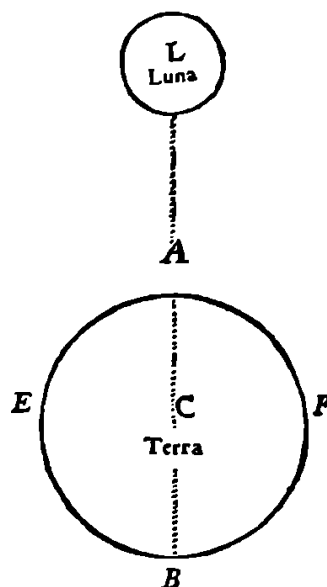
30 settembre 1760

*Spiegazione particolareggiata del fenomeno del flusso e riflusso del mare, dovuto alla forza attrattiva della luna*

Poiché la teoria escogitata da Descartes per spiegare il flusso e riflusso del mare con la pressione esercitata dalla luna sulla nostra atmosfera, non aveva avuto successo, era piú ragionevole ricercarne la causa nell'attrazione che la luna esercita sulla terra e quindi anche sul mare. Poiché la forza attrattiva di tutti i corpi celesti è già sufficientemente provata da altri fenomeni, come ho avuto l'onore di dimostrare a Vostra Altezza, non è possibile dubitare che anche il flusso e riflusso del mare non ne sia una conseguenza. Difatti, dal momento che noi stabiliamo che la luna, come tutti gli altri corpi celesti, attrae a sé tutti i corpi con una forza proporzionale alla loro massa e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza, è facile comprendere che anche un corpo fluido come il mare non può rimanere insensibile all'azione di questa forza, tanto piú che, e Vostra Altezza l'avrà certo notato, anche una minima forza è in grado di agitare un fluido. Si tratta solo di esaminare se la forza attrattiva della luna, quale noi la supponiamo, sia effettivamente capace di produrre nel mare quell'agitazione che noi conosciamo sotto il nome di flusso e riflusso.

Supponiamo che i due circoli della figura\* rappresentino la terra e la luna. *A* è il punto dove si vede la luna al di sopra della terra; *B* è il luogo direttamente opposto, dove si trovano gli antipodi. *C* indica il centro della terra. Ora, poiché il punto *A* è piú vicino alla luna del punto *B*, un corpo posto in *A* è piú fortemente attratto verso la luna di un corpo simile

posto in *B*. Se poi supponiamo un terzo corpo, simile ai precedenti, posto nel centro della terra *C*, è chiaro che su di esso la luna eserciterà un'attrazione minore che sul corpo *A*, ma maggiore che sul corpo *B*, essendo *A* e *B*, rispettivamente, l'uno piú vicino e l'altro piú lontano dalla luna che non il corpo *C*. Ora corpi simili, situati in *E* e in *F*, sono attratti dalla luna pressappoco con la stessa forza con cui è attratto il corpo che si trova al centro della terra *C*, perché si trovano circa alla stessa distanza dalla luna del corpo *C*. Ci rendiamo così conto che non tutti i corpi della terra sono attratti con egual forza dalla luna. La diversa intensità dell'attrazione dipende dalla differenza delle loro distanze dal centro della luna *L*, in modo che un corpo della terra è tanto maggiormente attratto dalla luna quanto piú è ad essa vicino, e ne è tanto meno attratto quanto piú ne è lontano. È a questa diversità delle forze, con cui i corpi diversamente situati sulla terra sono attratti dalla luna, che noi dobbiamo ora fare massimamente attenzione; perché se tutti i corpi fossero egualmente attratti dalla luna, essi obbedirebbero egualmente a questa forza e non si verificherebbe nessun squilibrio nella loro reciproca posizione. Vostra Altezza si rappresenti un certo numero di carri tirati da forze perfettamente eguali, essi proseguiranno nella loro strada in modo da conservare sempre fra loro lo stesso ordine e le stesse distanze; ma non appena alcuni carri cammineranno piú velocemente e altri piú lentamente l'ordine sarà turbato. Lo stesso avviene per i corpi della terra che sono attratti dalla luna. Se fossero tutti egualmente attratti, essi conserverebbero fra loro la stessa posizione e noi non potremmo scorgervi nessun cambiamento;



268



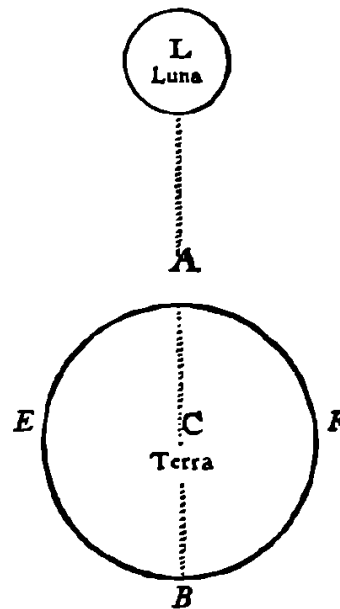
269 ma se le forze, con cui sono attratti dalla luna, non saranno eguali, anche il loro ordine e la loro posizione reciproca risulteranno cambiati, purché simili corpi non siano uniti fra loro con legami che a tali forze non sarebbe possibile rompere, cosa che non può accadere in un corpo fluido come il mare. Infatti proprietà essenziale di ogni corpo fluido è di avere tutte le parti facilmente separabili le une dalle altre in modo tale che ciascuna può obbedire liberamente alle varie forze che l'agitano. È dunque chiaro che, se le forze agenti sulle diverse parti del mare non sono eguali fra loro, ne debba nascere un'agitazione e uno squilibrio nel suo assetto ordinario. Ma si è visto or ora che le varie parti del mare sono diversamente attratte dalla luna a seconda della diversa distanza che hanno dal suo centro. Ne segue che il mare deve venir agitato dalla forza della luna, e che, cambiando la luna continuamente posizione nei confronti della terra e facendo intorno ad essa la propria rivoluzione in 24 ore e tre quarti circa, anche il mare deve subire gli stessi cambiamenti e gli stessi fenomeni nello stesso intervallo di 24 ore e tre quarti; ovvero sia il flusso e riflusso devono ritardare ogni giorno di tre quarti d'ora; cosa che si accorda perfettamente con l'esperienza. Si tratta di mostrare come l'alzarsi e il calare del mare a un intervallo di 6 ore e 12 minuti, dipenda dalla diversità delle forze esercitate dalla luna; è quanto mi propongo di esaminare nella prossima lettera.

4 ottobre 1760

## Continuazione

La luna, come Vostra Altezza ha testé visto, può dar luogo a qualche cambiamento nello stato della terra, solo perché agisce in maniera diversa sulle sue diverse parti. Infatti, se tutte le parti della terra subissero la stessa azione, esse ne sarebbero anche egualmente condizionate, e non ne risulterebbe nessun cambiamento nella loro reciproca posizione.

Ma poiché un corpo posto in *A* è più vicino alla luna di un corpo posto nel centro della terra *C*, esso ne è anche più fortemente attratto, quindi tenderà ad avvicinarsi più velocemente dell'altro. Ne consegue necessariamente che il corpo *A* si allontana dal centro *C* in direzione della luna. Immaginiamo quindi che in *A* e in *C* vi siano due carri. Il carro posto in *A* è allora attratto in direzione *L* con una forza maggiore del carro posto in *C*, e tenderà ad allontanarsene. Risulta chiaro che la forza della luna tende ad allontanare il punto *A* dal centro *C*. Ma allontanare un corpo dal centro della terra equivale ad innalzarlo, e poiché qui si tratta dell'acqua che sarebbe in *A*, non vi è dubbio che la forza della luna tende ad innalzare l'acqua che è in *A* con una forza eguale alla differenza con cui il punto *A* è più forte-



mente attratto dalla luna che non il centro  $C$ . Questa è dunque la forza con cui la luna solleva le acque che si trovano immediatamente sotto di essa sulla terra. Consideriamo ora un corpo in  $B$ , direttamente opposto al punto  $A$ ; questo corpo è attratto dalla luna con una forza minore di quella con cui sarebbe attratto un corpo simile situato al centro della terra  $C$ , che quindi tenderà ad avvicinarsi alla luna più del punto  $B$ , che resterà per così dire indietro, proprio come un carro che cammini più lentamente di quello che lo precede. Il risultato sarà che il punto  $C$  si allontanerà dal centro  $C$ , o meglio se ne innalzerà perché allontanarsi dal centro della terra equivale esattamente a innalzarsi. Per cui è evidente che la forza della luna tende ad innalzare non solo le acque che si trovano in  $A$ , ma anche quelle direttamente opposte che si trovano in  $B$ ; queste ultime con una forza eguale alla differenza con cui il punto  $B$  è attratto dalla luna meno del centro  $C$ . Coloro, che sono in  $A$ , hanno la luna direttamente al di sopra di sé cioè al loro zenit; quelli invece, che si trovano in  $B$ , non vedono affatto la luna che in quel momento occupa nel cielo il punto direttamente opposto al loro zenit, che si chiama *nadir*. Si comprende dunque come in un qualsiasi luogo del mare l'acqua debba innalzarsi sia che la luna si trovi allo zenit o al nadir del luogo stesso, cioè sia che la luna si trovi nel punto più alto, al disopra dell'orizzonte, oppure che si trovi nel suo punto più basso, al di sotto dello stesso orizzonte. Nei periodi intermedi, quando la luna si trova all'altezza dell'orizzonte e sorge o tramonta, essa non esercita nessuna forza per sollevare il mare, anzi ne risulta una piccola forza contraria che tende a farlo abbassare. Secondo questo sistema, quando la luna è allo zenit, tende a innalzare l'acqua del mare, e ad abbassarla, quando, passate 6 ore, la luna è giunta all'orizzonte; a rialzarla nuovamente, quando, trascorse 12 ore e 22 minuti, la luna raggiunge la sua massima distanza al di sotto dell'orizzonte; ad abbassarla ancora una volta quando, dopo 18 ore e 33 minuti la luna è risalita all'orizzonte; finché,

trascorse 24 ore e 45 minuti, ritornata la luna allo zenit del cielo, si riprodurrà lo stesso ciclo del giorno precedente; cosa che si accorda perfettamente con le esperienze. Questo alterno movimento in alto e in basso del mare a intervalli di 6 ore e 11 minuti, è talmente conforme con il movimento della luna, da non lasciar nessun dubbio che il flusso e riflusso del mare non sia determinato dalla forza attrattiva della luna. La circostanza piú notevole è che la luna agisce egualmente sul mare, innalzandolo, sia che si trovi nel punto piú alto al di sopra dell'orizzonte sia che si trovi al di sotto nel punto piú basso, cosa che all'inizio parve molto strana ai filosofi che si immaginavano che la luna sotto l'orizzonte avrebbe dovuto produrre un effetto contrario a quello che essa produceva quando era allo zenit; ma dalla figura, dove ho dimostrato che l'effetto della luna è eguale in *A* come in *B*, Vostra Altezza potrà nel modo piú chiaro rendersi conto come anche in queste due posizioni, direttamente opposte, la luna possa produrre uno stesso effetto.

273

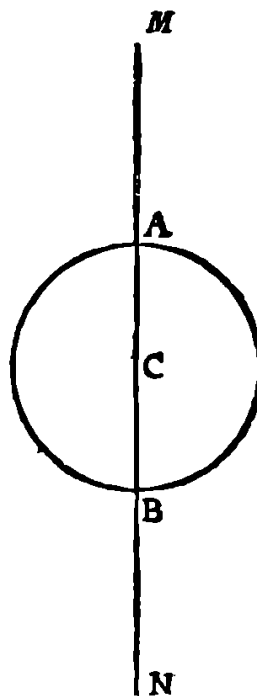
7 ottobre 1760

Dopo quanto ho avuto l'onore di dire a Vostra Altezza a proposito del flusso e riflusso del mare, Ella vedrà che il sistema di Newton, da me seguito, è direttamente contrario a quello di Descartes.\* Secondo quest'ultimo, la luna agisce per pressione, e il mare dovrebbe abbassarsi nei luoghi posti direttamente sotto di essa; secondo Newton invece, la luna agisce per attrazione, facendo sollevare l'acqua nei luoghi posti sotto di sé. Sarà l'esperienza a decidere quale di questi due sistemi può essere ammesso, e a questo proposito non c'è che da consultare le osservazioni fatte nel grande oceano, per vedere se l'acqua sale o discende quando la luna si trova allo zenit di quel luogo. E vi si è ricorsi in effetti, ma si è osservato che quando la luna si trova allo zenit o al nadir di un dato luogo, l'acqua non presenta nessun cambiamento di livello, e che l'alta marea sopraggiunge solo dopo alcune ore che la luna è passata dallo zenit. Persone, che non esaminano a fondo le cose, ne hanno tratto immediatamente la conclusione che nessuno dei due sistemi era accettabile; e i cartesiani ne hanno ricavato qualche vantaggio, credendo che se il sistema di Newton veniva respinto quello di Descartes doveva essere necessariamente ammesso, quantunque l'osservazione riferita fosse contraria al sistema di Descartes quanto sembrava esserlo a quello di Newton. Tuttavia per distruggere il sistema di Descartes basta il semplice fatto che il mare si trovi sempre nello stesso stato dopo un periodo di 12 ore e 22 minuti, o che lo stato del mare sia lo stesso, quando la luna si trova al di

sopra come al di sotto dell'orizzonte; ed è impossibile ai suoi difensori dimostrare come la luna, essendo sopra la testa dei nostri antipodi, possa produrre sulle acque lo stesso effetto di quando si trova sopra le nostre teste, come si può vedere nella figura qui riportata.

275

L'esperienza ci assicura che si ha un identico stato dell'acqua, sia che la luna si trovi in *M*, dove è il suo zenit, sia che si trovi in *N* dove è il nadir di *A*, cioè dove è lo zenit degli antipodi posti in *B*. Bisogna dunque che l'effetto della luna sull'acqua nel punto *A* sia identico tanto nell'uno che nell'altro caso. Ora, se, come pretende Descartes, la luna agisse per pressione, ne seguirebbe che, quando la luna è in *M*, essa dovrebbe fare abbassare l'acqua in *A*; e che quando la luna è in *N*, sarebbe impossibile che l'acqua subisse in *A* un'identica azione. Nel sistema dell'attrazione invece è incontestabile che l'azione della luna debba essere pressappoco la stessa sia che la luna si trovi in *M*, sia che si trovi in *N*; proprio come dimostrano le osservazioni. Qui però è necessario ricordare la spiegazione che ne ho data



276

sopra e che ora ripeterò, data la sua estrema importanza. Quando la luna si trova in *M*, il punto *A* le rimane più vicino del centro *C*; deve dunque attrarlo con più forza, facendolo allontanare dal centro, ovvero sia innalzarsi. Quando la luna è in *M*, essa tende quindi a innalzare le acque poste nel punto *A*. Ma vediamo ora che cosa farà la luna quando dopo 12 ore e 22 minuti sarà arrivata in *N*. Poiché il punto *A* si trova a una maggior distanza dalla luna del centro *C*, ne sarà anche più debolmente attratto: dunque il centro *C* si dirigerà verso *N* con una velocità maggiore che non il punto *A*, e anche la distanza *AC* risulterà aumentata, e *A* sarà più lon-

277 tano dal centro *C*; ma poiché allontanarsi dal centro della terra equivale a innalzarsi, la luna, trovandosi in *N*, farà innalzare il punto *A*, ovvero si tenderà a farne innalzare le acque come se la luna si trovasse in *M*. A questo punto però l'esperienza sembra darci una grave smentita, perché si osserva che, quando la luna è in *M* o in *N*, l'acqua in *A* non si trova affatto alla sua massima altezza, ma vi perviene solo dopo un po' di tempo. Per questa ragione alcuni non hanno esitato a respingere completamente tale spiegazione. Vostra Altezza però capirà facilmente che si tratta di un giudizio precipitoso. Io non ho detto che quando la luna si trova in *M* o in *N*, le acque raggiungono in *A* la loro massima altezza; ho detto semplicemente che la forza della luna tende allora a far salire le acque. Ora le acque non potrebbero sollevarsi in *A* senza aumentare la loro quantità; è dunque necessario che esse vi pervengano da altri luoghi, anche molto lontani, e occorre un certo tempo perché si raduni una sufficiente quantità di acqua; quindi è del tutto naturale che in *A* l'alta marea possa verificarsi solo dopo qualche tempo che la luna è passata da *M* o da *N*. Quindi una simile osservazione, ben lungi dal distruggere il nostro sistema, lo conferma. Nessun dubbio che la forza tendente a innalzare il mare debba precedere il momento del massimo livello delle acque, anche per un tempo abbastanza considerevole, dato che le acque devono pervenirvi da luoghi molto lontani, dove l'acqua è bassa, mentre è alta in *A*. Se poi le acque devono passare per degli stretti, o se incontrano altri ostacoli nel loro cammino, l'alta marea subirà un ritardo ancora maggiore; e se nell'Oceano l'alta marea si verifica in *A*, 2 ore dopo che la luna è passata da *M* o da *N*, nei mari più stretti essa avviene solo 3 o più ore dopo: cosa che si accorda perfettamente con le osservazioni fatte.

7 ottobre 1760

*Continuazione*

Vostra Altezza non deve piú avere alcun dubbio che il flusso e riflusso del mare non sia causato dalla forza attrattiva della luna; tuttavia resta da risolvere ancora la difficoltà perché questo movimento del mare sia molto piú considerevole durante i noviluni e i pleniluni che non durante i quarti di luna. Se la luna fosse piú vicina alla terra quando è nuova o piena, non vi sarebbe nessuna difficoltà, perché la maggiore vicinanza accrescerebbe la forza della luna. Ma quantunque la luna si avvicini ora piú ora meno alla terra, la differenza è sempre troppo piccola perché possa prodursi un cambiamento tanto considerevole nel flusso o riflusso del mare. Inoltre questa differenza non si regola affatto sui pleniluni e sui noviluni, ma può benissimo accadere che la luna sia piú vicina alla terra proprio quando è nei suoi quarti. È dunque necessario ricorrere a una causa che sia capace di aumentare il flusso e riflusso del mare durante le lune nuove e piene e di diminuirlo nei quarti di luna. Il sistema dell'attrazione ci fa immediatamente scoprire questa nuova causa: è la forza attrattiva del sole che, unita a quella della luna, ci dà la spiegazione completa di tutti i fenomeni dovuti al flusso e riflusso. Infatti tutto ciò che io ho detto sulla forza con cui la luna mette in movimento il mare, vale anche per il sole la cui forza attrattiva agisce su tutte le parti della terra, attirando con maggior forza quelle che gli sono piú vicine che non quelle che gli sono piú lontane. La forza del sole è anche molto piú grande di quella della luna; è infatti questa forza a

279



regolare il movimento della terra, facendole percorrere la sua orbita. Riguardo però al movimento che produce nel mare, esso dipende dalla diversità delle forze attrattive del sole, che attraggono i punti della superficie della terra in misura maggiore o minore del suo centro, come ho già dimostrato spiegando l'azione della luna; perché se tutte le parti della terra fossero attratte in egual misura, non ne risulterebbe nessun cambiamento nella loro reciproca disposizione. Ma la forza del sole, pur essendo molto più grande di quella della luna, presenta, relativamente alle varie parti della terra, una differenza più piccola. A causa della grande distanza del sole, che è circa 300 volte più lontano dalla terra che non la luna, la differenza che intercorre tra la forza con cui è attratto il centro della terra e le forze con cui sono attratti i punti della sua superficie è minima, e si calcola che sia circa 3 volte più piccola della differenza che intercorre fra le varie forze della luna. La forza attrattiva del sole sarebbe quindi, anche da sola, capace di produrre il flusso e riflusso del mare, che però risulterebbe di circa 3 volte meno forte di quello prodotto dalla luna. Da ciò è evidente che il flusso e riflusso del mare è un effetto complesso, dovuto tanto alla forza della luna che a quella del sole; vi sono cioè due vere e proprie maree, una dovuta alla luna e l'altra al sole, che sono chiamate rispettivamente *marea lunare* e *marea solare*. Quella lunare, che è circa 3 volte più forte, segue il movimento della luna e ogni giorno ritarda di tre quarti d'ora; quella che segue il movimento del sole avverrebbe sempre alle stesse ore del giorno se fosse l'unica a esistere. Queste due maree, la lunare e la solare, unite insieme, producono il flusso e il riflusso del mare che noi possiamo effettivamente osservare; ma poiché tanto l'una che l'altra, da sole, sono in grado di alzare e abbassare alternativamente il mare, se concorrono insieme a questo effetto, il flusso e riflusso del mare ne risulterà di tanto aumentato; mentre se una tende a sollevare il mare quando l'altra lo fa abbassare, cosicché i loro effetti risultino contrari,

allora l'effetto dell'una sarà diminuito da quello dell'altra, cioè la marea lunare sarà resa meno sensibile da quella solare. Dunque, secondo che queste due maree si verificano contemporaneamente, o che l'una si venga a opporre all'altra, il flusso e riflusso del mare sarà di proporzioni più o meno considerevoli. Ora, poiché nei noviluni il sole e la luna si trovano negli stessi posti del cielo, i loro effetti vanno perfettamente d'accordo, e il flusso e riflusso del mare deve diventare maggiore, essendo uguale alla somma delle due maree. La stessa cosa si verificherà anche nei pleniluni, quando la luna è opposta al sole: sappiamo infatti che la luna produce lo stesso effetto, quantunque si trovi in due punti direttamente opposti del cielo; anche il flusso e riflusso deve dunque essere maggiore sia nelle lune nuove che in quelle piene. Nel primo e ultimo quarto della luna avviene il contrario: quando la marea lunare innalza le acque, la solare le abbassa e viceversa; per cui è evidente che in questi periodi di tempo il flusso e il riflusso deve essere minore, come lo si può constatare anche con le osservazioni. Si può inoltre dimostrare con il calcolo che tanto l'effetto della luna che quello del sole sono leggermente maggiori quando questi corpi si trovano nell'equatore del cielo, cioè quando sono egualmente lontani dai due poli del mondo, come si verifica nel periodo degli equinozi, verso la fine dei mesi di marzo e settembre; e si può anche osservare che in queste stagioni le maree sono più sensibili. Non resta quindi più alcun dubbio che le maree, cioè il flusso e riflusso del mare, siano causate dalla forza attrattiva sia della luna che del sole, nella misura in cui queste forze agiscono inegualmente sulle diverse parti del mare; e la felice spiegazione di questo fenomeno, che tanto imbarazzò i nostri antenati, è la piena conferma del sistema dell'attrazione, cioè della gravitazione universale, sul quale è fondato il movimento dei corpi celesti.

282

14 ottobre 1760