

MAREE

Nozioni generali

La Luna è il corpo celeste più vicino al nostro pianeta ed è l'unico satellite naturale che essa possiede. Ha un diametro di 3476 km, pari a poco più di un quarto di quello terrestre che è di circa 12700 km.

La Luna impiega 27 giorni 7 ore 43 minuti e 12 secondi per compiere un giro (rivoluzione) intorno al nostro pianeta (ad una distanza media di 384.400 km), definendo in questo modo il mese siderale (27,32 giorni). Oltre al mese siderale si considerano anche altri tipi di periodi lunari.

Il mese sinodico, mese lunare, o lunazione, è l'intervallo di tempo tra due fasi successive di Luna Nuova. Il valore effettivo varia tra 29,25 e 29,75 giorni (in media 29 giorni 12 ore, 44 minuti). Questo intervallo di tempo è alla base dei calendari lunari e lunisolari.

Il mese anomalistico è l'intervallo di tempo compreso tra due successivi perigei. È uguale a 27,55 giorni. Il mese tropico è invece l'intervallo di tempo tra due successivi passaggi per il cerchio orario del Primo Punto di Ariete (γ), o equinozio di primavera.

A causa della precessione degli equinozi questo intervallo è leggermente diverso dal mese siderale. È uguale a 27,32 giorni. Il mese draconitico, o mese draconico, è infine l'intervallo di tempo tra due successivi passaggi attraverso il nodo ascendente (vedi dopo). È uguale a 27,21 giorni (27 giorni, 5 ore, 5 minuti, 36 secondi).

Poiché la Luna effettua una sola rotazione attorno al proprio asse nel tempo di una rivoluzione completa attorno alla Terra, essa rivolge verso di noi sempre la stessa faccia. Tuttavia, il fenomeno delle librazioni, rende visibile dalla Terra fino al 59% della superficie lunare.

Con il nome di librazioni sono indicati due tipi differenti di fenomeni, librazioni geometriche e librazioni fisiche.

La librazione geometrica è l'effetto di tre cause differenti librazione in longitudine, librazione in latitudine e librazione diurna. La librazione in longitudine è dovuta al fatto che la Luna si muove più velocemente al perigeo che all'apogeo poiché la velocità di rotazione si mantiene costante, la Luna presenta una rotazione longitudinale apparente di circa 8° .

La librazione in latitudine è dovuta al fatto che l'asse di rotazione della Luna non è perpendicolare al suo piano orbitale, ma è inclinato rispetto a questo di circa $6^\circ 40'$. Durante una lunazione, allora, i poli Nord e Sud della Luna appaiono inclinati alternativamente verso la Terra.

La librazione diurna, o parallattica, è dovuta al fatto che un osservatore vede la Luna sotto differenti angolazioni da differenti punti della Terra, ovvero al tramonto rispetto al sorgere della Luna stessa. Questo fenomeno ammonta a circa 1° .

La librazione fisica, infine, è un'irregolarità del moto della Luna prodotta dall'attrazione gravitazionale della Terra sul rigonfiamento equatoriale della Luna. È di piccola entità ammontando ad appena $2'$. L'orbita della Luna è un'orbita ellittica ed inclinata di $5^\circ 09'$ rispetto a quella Terrestre; le due orbite si intersecano in due punti detti nodi, rispettivamente ascendente, quando la Luna passa dall'emisfero australe a quello boreale, e discendente, nel caso opposto. La linea congiungente questi due punti è detta linea dei nodi. I nodi si spostano nello spazio, nel tempo e compiono un giro completo in 18 anni circa. Lo spostamento della linea dei nodi determina una notevole variazione della posizione della Luna in cielo.

Essendo un corpo freddo come la Terra, la Luna non risplende di luce propria ma riflette quella che riceve dal Sole.

Quando la Luna si trova tra il Sole e la Terra (congiunzione) la faccia rivolta verso di noi non è illuminata e si ha la fase di novilunio (Luna nuova).

Quando è la Terra a trovarsi tra il Sole e la Luna (opposizione) la faccia visibile è completamente illuminata e si ha plenilunio (Luna piena).

Nelle fasi intermedie il Sole illumina solo una porzione della faccia visibile. Tra il novilunio e il plenilunio la porzione illuminata aumenta (Luna crescente) e la Luna assume prima l'aspetto di una falce, viene quindi illuminata esattamente a metà (primo quarto) e prende poi l'aspetto di un disco gibboso (Luna gobba).

Tra il plenilunio e il novilunio la porzione illuminata diminuisce con continuità (Luna calante) la Luna è gibbosa sino a che (ultimo quarto) non è illuminata esattamente per metà. Dopo di ciò assume nuovamente l'aspetto di una falce che si restringe sempre più sino al successivo novilunio. Quando, prima del novilunio, è illuminata per circa tre quarti viene detta Luna vecchia.

Ne scaturiscono così le fasi della Luna:

Luna Nuova: in questo caso la Luna trovandosi dalla parte del sole (congiunzione), tramonta e sorge con esso. Non è quindi visibile, se non nei giorni di poco precedenti o seguenti, quando si presenta in forma di esile falce, rimane debolmente illuminata dalla luce solare riflessa dalla terra.

Primo Quarto (7,4gg): la Luna è posta a 90 gradi rispetto al Sole (quadratura).

Luna Piena (14,7gg): la Luna è dalla parte opposta del Sole venendone quindi illuminata.

Ultimo Quarto (22,1gg): la Luna si trova a 90° rispetto al Sole.

La Luna influisce sulla Terra provocando il fenomeno delle maree, in quanto riesce ad influenzare con il suo campo gravitazionale i mari e gli oceani, ma anche la crosta terrestre, provocando un rigonfiamento di essi verso la Luna. Questo fenomeno ha anche una conseguenza sulla rotazione della Terra: l'attrito dovuto alle maree fa infatti rallentare la Terra, provocando un allungamento della durata del giorno.

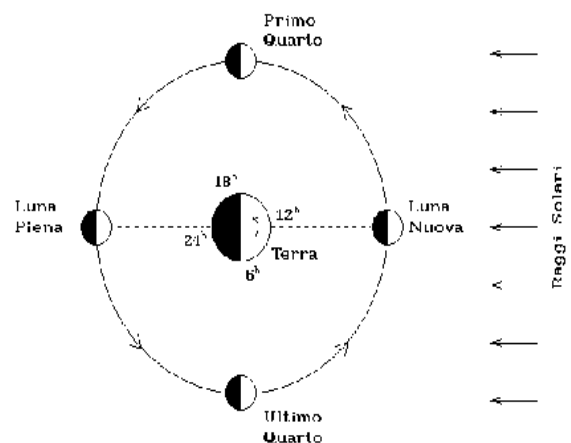


Fig. 1 Fasi della Luna.

MAREE

I rigonfiamenti mareali, incontrando l'ostacolo rappresentato dai continenti, esercitano infatti un attrito che provoca la riduzione della velocità di rotazione terrestre: la durata del giorno aumenta di circa un secondo ogni centomila anni. La seconda conseguenza dell'attrito delle maree è la variazione della distanza tra Terra e Luna (qualche centimetro all'anno) in allontanamento. Questi cambiamenti avvengono a causa della conservazione del momento angolare del sistema Terra-Luna, in quanto la Terra reagisce al "freno" causato dalle maree "spingendo" la Luna.

I principi del fenomeno di marea

La marea è in genere una deformazione della superficie di un astro prodotta dall'azione gravitazionale di uno o più corpi celesti. In particolare per la Terra l'oscillazione di livello del mare causata dall'attrazione gravitazionale combinata del Sole (~1/10) e della Luna (~9/10).

Poiché risultano sollecitate, oltre alla superficie marina, la crosta solida (non perfettamente rigida) e l'involucro gassoso atmosferico, si parla anche di maree terrestri e di maree atmosferiche.

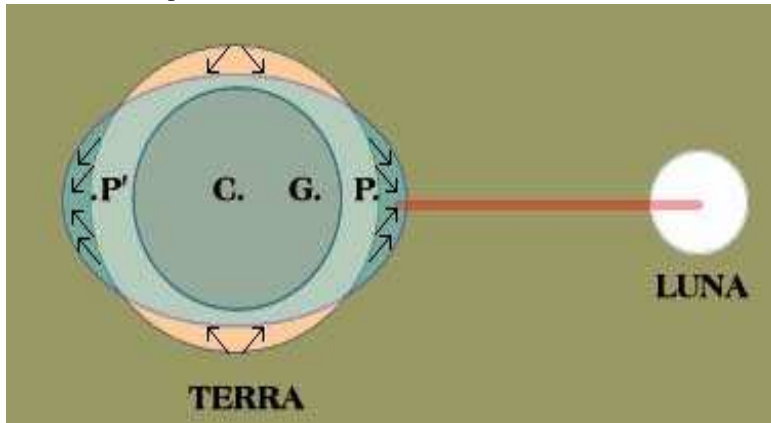


Fig. 2 L'effetto dell'attrazione della Luna.

L'attrazione luni-solare sulla massa acqua produce in questa una deformazione periodica e regolare che in generale si manifesta col ripetersi nell'arco di 24h 50 minuti, corrispondente al giorno lunare medio, di due innalzamenti (flusso o alta marea) e due abbassamenti (riflusso o bassa marea) del livello marino.

I due flussi e i due riflussi si alternano circa ogni sei ore generando due correnti di senso opposto (correnti di marea). Le maree possono essere quindi considerate come onde estese con periodo di 12h e 25m e lunghezza d'onda pari a circa una semicirconferenza terrestre.

L'altezza dell'onda di marea, o ampiezza di

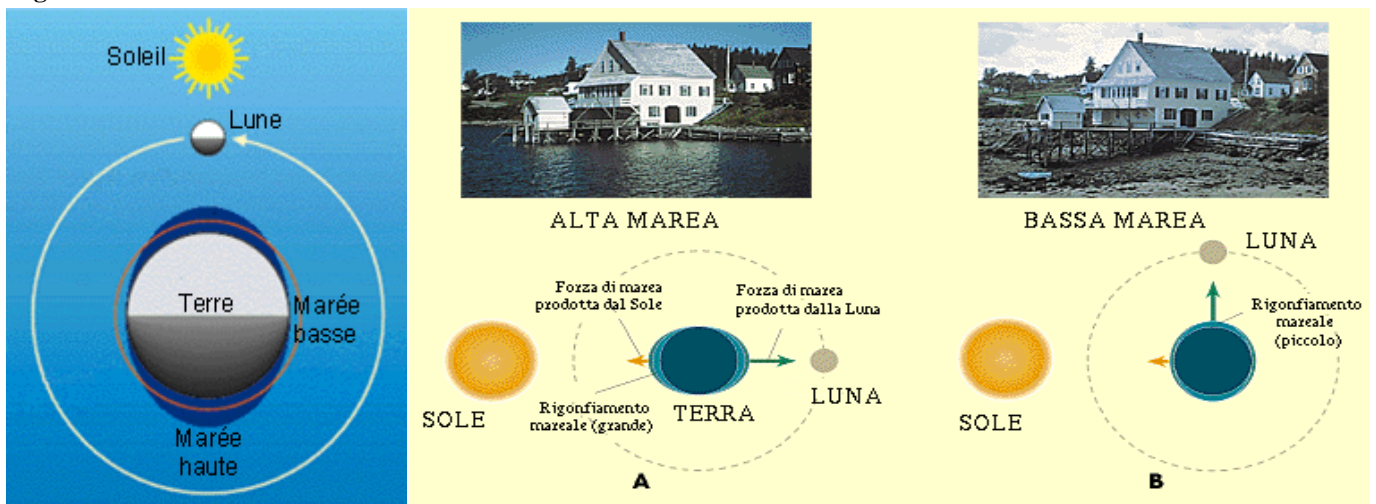


Fig. 3 Maree sizigiali e alle quadrature e relativi effetti.

marea è data dal dislivello tra alta e bassa marea e dipende dalle reciproche posizioni di Terra, Luna e Sole. Essa raggiunge il valore massimo quando i tre corpi celesti sono allineati sia in congiunzione che in opposizione (sizigie: fasi di Luna nuova e di Luna piena); è al minimo quando la Luna si trova a 90° con l'allineamento Terra- Sole (quadratura: fasi di primo e ultimo quarto).

Le maree rappresentano l'effetto più tangibile dell'influenza esercitata dalla Luna sul nostro pianeta e sono causate in maniera diretta dalla forza di gravitazione universale, che vuole due qualsiasi corpi attrarsi in maniera reciproca in funzione della propria massa e della distanza (quadratica) che li separa, ed indirettamente dal moto di rotazione della Luna attorno alla Terra, secondo la relazione seguente:

$$F = G(M_T M_L)/d^2$$

dove M_T , M_L sono rispettivamente la massa della Terra ($5,98 \cdot 10^{24}$ kg) e della Luna ($7,36 \cdot 10^{22}$ kg), d rappresenta la distanza tra il centro della Terra e quello della Luna, mentre G esprime la costante di gravitazione universale ($6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm²kg⁻²).

Il livello delle acque in direzione della Luna, si rifletterà anche nella parte opposta della Terra per cause che vedremo. Viceversa in altri due punti, diametralmente opposti, avremo due abbassamenti. Si vengono in questo modo a definire i fenomeni di alta e bassa marea.

I dislivelli di marea sono di solito poco rilevanti in pieno oceano e nei mari interni, ma possono avere notevole rilievo negli estuari, nelle baie e nei golfi stretti.

Negli estuari in cui il dislivello di marea è forte, il flusso e riflusso delle acque genera abbastanza energia (detta energia mareomotrice); nei mari con acque basse può verificarsi il fenomeno delle sovra maree, nelle quali la frequenza delle alte e basse maree è multipla di quelle normali.

MAREE

Essendo legate al periodo di rotazione della Luna attorno alla Terra, esse, come già detto, si verificheranno, nello stesso luogo con una periodicità di 12 ore e 25 minuti (metà del giorno lunare medio) ed un intervallo fra uno e l'altro di 6 ore, 12 minuti e 30 secondi circa.

Ad incrementare il fenomeno concorre anche il Sole ($M_S = 1,99 \cdot 10^{30}$ kg). In questo caso la sua forza di attrazione si "somma" a quella lunare anche se in misura molto minore infatti, anche se più grande, la nostra stella dista dalla Terra circa 400 volte più della Luna, con la conseguenza che il nostro satellite farà sentire la sua influenza maggiormente.

Quando esso si trova allineato lungo la direzione Terra-Luna (congiunzione ed opposizione) e perciò nei periodi di Luna Piena o di Luna Nuova (Sizigie, maree sizigiali), si registreranno le più alte alte maree e le più basse basse maree.

Poiché la rivoluzione sinodica della Luna è superiore a quella siderea di 2,2 giorni (29,53 contro 27,33 giorni), in 29,5 giorni si verificano 2 sizigie e quindi due maree sizigiali.

In occasione delle quadrature si avranno le cosiddette maree alle quadrature, che si caratterizzano per le più basse alte maree e le più alte basse maree. Anche queste si verificano due volte al mese.

In tutte le altre situazioni il Sole sostanzialmente "disturba" l'azione della Luna, determinando anticipi e ritardi sull'arrivo della marea. Il fenomeno è evidentemente ritmico e raggiunge il suo massimo (anticipo o ritardo) quando Luna e Sole sono a 45° l'uno rispetto all'altro.

Ulteriori effetti possono infine essere determinati dalla variabilità della declinazione della Luna e dal fatto che la distanza tra Terra e Luna non è costante. Il primo caso implica che l'ellissoide di marea non ruoterà attorno all'asse di rotazione terrestre, bensì in modo eccentrico. Pertanto due località lontane, ma poste sul medesimo parallelo non risentiranno dello stesso fenomeno di marea.

La variabilità della distanza tra Terra e Luna porta a intuibili modifiche nelle caratteristiche dell'ellissoide di marea.

Oltre alla forza di gravitazione universale in questo fenomeno entra in gioco anche un'altra forza, quella centrifuga. Infatti i due corpi, legati da mutua attrazione, costituiscono un unico sistema che ruota attorno ad un baricentro collocato a circa 1700km dal centro della Terra in direzione della Luna, con il risultato che la massa delle acque che si trova dalla parte opposta alla Luna si gonfia appunto per la forza centrifuga derivante dalla rotazione del sistema.

I livelli d'innalzamento delle acque si fanno sentire particolarmente vicino le coste e possono raggiungere anche i 15 metri, mentre in mare aperto o in mari chiusi come l'Adriatico, toccano il metro di altezza.

Le maree possono essere infine distinte in:

1. lunari - quando si verificano in direzione della Luna;
2. antilunari - quelle che si creano nella direzione opposta;
3. sizigiali, equinoziali o vive - nei periodi di Luna Piena o Nuova e perciò quando all'allineamento si aggiunge il Sole;
4. di quadratura o morte, al primo o ultimo quarto, quando il nostro pianeta ed i due astri maggiori si trovano a 90° .

Riassumendo, avremo che:

1. il fenomeno sarà determinato dalla Luna, la cui azione sarà prevalente rispetto a quella del Sole.
2. si caratterizzerà per un'alternanza di alta e bassa marea in numero variabile nell'arco della giornata (v. dopo).
3. nell'arco del mese avremo due alte e due basse maree sizigiali e due alte e due basse maree alle quadrature.
4. l'attrito e/o la conformazione del bacino, potranno ritardare il fenomeno.

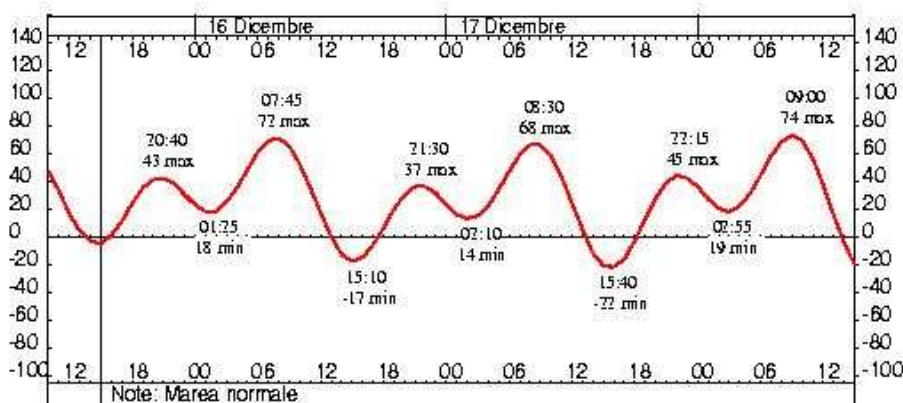


Fig. 4 Previsione di marea.

Previsione di marea

Lo studio delle maree avviene mediante l'impiego di mareografi a galleggiante o a pressione.

Per la previsione delle maree si sfruttano i dati così ottenuti, cercando di raccordarli opportunamente in forme matematicamente ammissibili (utilizzando il metodo armonico).

Si deve inoltre ricordare che in una medesima località la marea non conserva sempre la stessa caratteristica. Nei mari italiani la marea raggiunge valori trascurabili,

fatta eccezione per il Mar Adriatico, dove nel tratto settentrionale, quello a nord di Ancona, si osservano i massimi valori (intorno ad 1 m) rispetto a quanto registrato lungo le rimanenti coste italiane; tali maree, si producono circa 9 ore dopo il transito della luna al meridiano $15^\circ E$; per contro, lungo le coste meridionali dell'Italia l'altezza di marea è stata registrata con valori inferiori ai 50 cm.

Dall'analisi dei dati ottenuti dal mareografo è possibile l'individuazione dei seguenti tipi di maree:

1. **Maree Semi Diurne:** quando si hanno per ogni giorno di marea circa due alte maree e due basse maree alternate, con le alte maree del mattino uguali a quelle del pomeriggio e le due basse maree uguali tra loro (es. laguna di Venezia).
2. **Maree Diurne:** Nei luoghi dove la marea è "diurna" si hanno solamente una alta ed una bassa marea al giorno. In questo caso il fenomeno viene rallentato nel tempo dalla conformazione del bacino.
3. **Maree Miste:** Le caratteristiche della marea di tipo "misto" sta nel fatto che vi è molta disegualianza diurna nelle altezze, che si manifesta nelle ampiezze delle successive alte o basse maree o in entrambe.

E' infine possibile definire l'Età della marea, come il ritardo ad esempio della marea sizigiale rispetto alla sizigie.

MAREE

Tavole di marea

Le tavole di marea sono pubblicate annualmente dall'Istituto Idrografico della Marina e sono suddivise in sei parti:

- Previsione per i principali porti italiani.
- Previsione per porti campione: Gibilterra, Venezia e Suez.
- Elementi per la previsione nei porti secondari.
- Previsione delle correnti di marea di località italiane.
- Correzioni tavole e glossario.
- Previsione delle correnti delle località secondarie dello Stretto di Messina.

Le altezze delle previsioni sono riferite al livello di riferimento degli scandagli (Chart Datum, CD), che è un livello convenzionale, scelto in modo che solo raramente l'acqua scenda al di sotto di esso. Nelle carte nautiche il livello di riferimento degli scandagli è costituito dal livello delle basse maree sizigiali. Si noti che tale sistema non è adottato da tutti gli Istituti di pubblicazione delle carte nautiche. In taluni casi (carte francesi) ci si riferisce alla media delle più basse maree sizigiali.

Il livello medio del mare (LM o, anche, MSL – Mean Sea Level) è invece l'altezza rispetto al CD del livello medio della superficie marina determinata con osservazioni di molti anni e preferibilmente in un arco di 18,6 anni. La differenza tra il livello medio del mare ed il livello di riferimento degli scandagli è chiamato Zo.

Le ore di previsione sono fornite in termini di ore legali adottate dai singoli stati. Va osservato che in molti stati vige l'ora estiva, per cui, in tali periodi, è necessario aggiungere un'ora al valore riportato sulle tavole.

Va infine tenuta in particolare evidenza la fase della luna nella data considerata, procedendo ad interpolazione lineare sui dati forniti dalle tavole (sizigiali o alle quadrature) ogni qualvolta risulti necessario.

L'acquisizione dei dati dalle prime due parti non comportano particolari difficoltà in quanto i dati sono tabulati e pertanto è sufficiente entrare correttamente nelle tavole.

Per il calcolo delle ore relative agli istanti di alta e bassa marea nei porti secondari occorre utilizzare le differenze orarie fornite dalle tavole con riferimento ai dati del porto campione. Si procede determinando per il porto campione l'ora relativa all'alta ed alla bassa marea.

Determinato il Δt relativo al porto secondario considerato, con una semplice somma si va a ricavare il valore dell'ora di marea:

$$t_{ps} = t_{pc} + \Delta t$$

Per determinare l'Ampiezza, bisogna introdurre il Rapporto delle Ampiezze che è definito come il rapporto tra l'ampiezza del porto secondario rispetto al porto campione:

$$R = H_{ps}/H_{pc} \Rightarrow H_{ps} = R H_{pc}$$

A seconda del valore di questo rapporto si potrà determinare l'ampiezza. Infatti se:

- $0,5 < R < 1,5 \Rightarrow$ si usa il "Metodo delle Differenze" che consiste nell'apportare alle altezze di marea del porto campione la differenza di altezza fornita nella tabella dei porti secondari, interpolando se necessario in base alla fase lunare del giorno considerato:

$$h_{ps} = h_{pc} + \Delta h$$

- $R > 1,5$ oppure $R < 0,5 \Rightarrow$ si usa il "Metodo dei Rapporti", per il quale risulta che, essendo Zo e Zo' i valori del livello medio del mare (valori riferiti alla media delle basse maree sizigiali), si ha che:

$$H_{ps} = Z_o' \pm (\Delta R) \quad [\text{dove } \Delta = H_{pc} - Z_o \text{ oppure } (Z_o - H_{pc}) \text{ se necessario}]$$

"+" per l'alta e "-" per la bassa. Le maree danno origine alle correnti di marea, da non confondere con le correnti marine vere e proprie. Le correnti di marea sono periodiche come le maree e possono avere le stesse caratteristiche. I valori riportati nelle tavole sono riferiti allo strato superficiale, con valori di velocità espressi in nodi, positivi (+) se il flusso è entrante, negativi (-) se il flusso è uscente. Solo nella fase (ora) di stanca, la velocità della corrente è nulla.

In mare aperto la velocità di una corrente di marea è minima, mentre in vicinanza delle coste e specialmente nei canali, negli estuari e negli stretti, tale velocità può assumere valori anche notevoli, che raggiungono i 10-11 nodi. La propagazione dell'alta marea in mare è più veloce della medesima propagazione in bacini chiusi. Le previsioni di marea e delle correnti di marea sono calcolate impiegando costanti armoniche e i relativi argomenti astronomici tabulati in ciascuna parte delle tavole.

E' evidente che le previsioni di marea non possono tenere conto degli aspetti meteorologici del momento, ad eccezione del valore della pressione (l'unico che può essere corretto). Questi fenomeni possono condizionare, anche sensibilmente, i risultati di previsione. Si pensi per esempio, ai possibili effetti dello scirocco nell'alto Adriatico.

Calcolo della marea negli istanti intermedi

Si parte dalla conoscenza dei seguenti dati:

• h_{AM}	t_{AM}	
• h_{BM}	t_{BM}	↓

Risulta inoltre che:

$$h_{AM} - h_{BM} = A$$

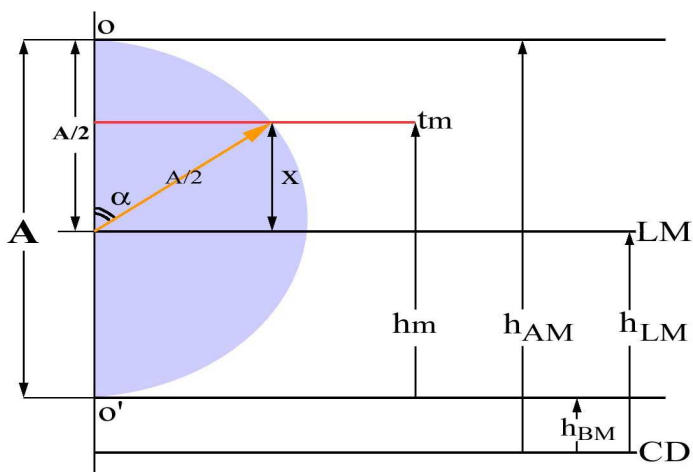
$$t_{BM} - t_{AM} = T \quad (\text{l'opposto, se } t_{AM} > t_{BM})$$

$$h_{LM} = (h_{AM} + h_{BM})/2, \quad t_{LM}$$

$$t_m - t_{AM} = t$$

$$h_m = h_{LM} + x$$

MAREE



Dalla figura è facile ricavare la proporzione:

$$180^\circ : T = \alpha : t$$

da cui:

$$\alpha = (t/T)180$$

Si può inoltre osservare che:

$$x = (A/2) \cos \alpha$$

Sono a questo punto possibili due situazioni:

1. Dato t_m determinare h_m

Si tratta di usare la relazione:

$$x = (A/2) \cos \alpha$$

e concludere ($h_m = h_{LM} + x$).

Si osservi che, in merito alla discussione sui segni, risulta:

- 1.1. $t_{BM} > t_{AM} \Rightarrow x > 0$ se $0^\circ < \alpha < 90^\circ$
 $x < 0$ se $90^\circ < \alpha < 180^\circ$
- 1.2. $t_{AM} > t_{BM} \Rightarrow x > 0$ se $90^\circ < \alpha < 180^\circ$
 $x < 0$ se $0^\circ < \alpha < 90^\circ$
- 1.3. se $\alpha = 90^\circ \Rightarrow h_m = h_{LM}$ in entrambi i casi.

2. Data h_m determinare t_m

Dalle relazioni precedentemente ricavate si ricava facilmente che $\cos \alpha = 2x/A$. A partire dalla quale si ottiene che:

$$x = h_m - h_{LM}$$

$$t = (\alpha/180) T$$

e, infine:

a questo punto:

- 2.1. $t_m = t_{AM} + t$ (se la marea cala - $t_{AM} < t_{BM}$)
- 2.2. $t_m = t_{BM} + t$ (se la marea cresce - $t_{AM} > t_{BM}$)

Metodo dei dodicesimi

Il problema del calcolo delle maree intermedie si può risolvere anche graficamente, oltre che analiticamente, con il metodo dei dodicesimi.

Questo metodo si basa sul presupposto del carattere sinusoidale della curva di marea semidiurna. Conoscendo l'escursione di marea e il tempo che intercorre tra la stanca di bassa e quella di alta, si può calcolare che altezza avrà la marea in un certo intervallo di tempo. In sostanza, si divide l'escursione di marea in 12 parti e il tempo tra il flusso e il riflusso in 6 parti.

Si calcola l'ampiezza locale "A" della marea e la durata "B" della marea in ore e minuti e si sottrae dall'altezza prevista per l'alta marea locale secondo la tabella riportata di seguito.

Metodo dei Dodicesimi

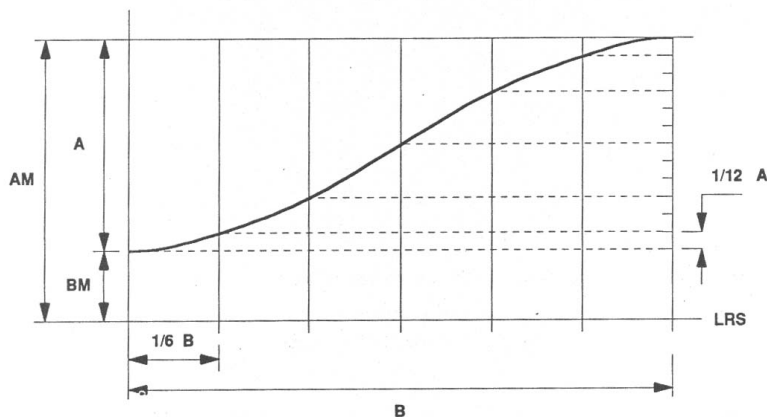
Ampiezza

01/12 A	Per un intervallo dall'AM
03/12 A	"
06/12 A	"
09/12 A	"
11/12 A	"
12/12 A	"

Durata

1/6 B
2/6 B
3/6 B
4/6 B
5/6 B
6/6 B

LRS=CD



MAREE

Onde fluviali di marea

Un altro fenomeno curioso è quello delle onde fluviali di marea. Il fenomeno è tipico dei fiumi il cui estuario sfocia in un bacino con forti escursioni di marea. L'estuario deve avere poca profondità e scarsa pendenza e deve restringersi gradualmente verso il corso superiore del fiume. L'onda fluviale, alta da pochi centimetri fino a oltre sette metri, ha effetti imprevedibili.

Il Mascaret, l'onda che risaliva la Senna, è stata temuta per molto tempo, fino a che non si è riuscita ad imbrigliarla in argini adeguati.

Esempi (Fonte dati: Tavole di Marea 1996)

1. Calcolare per il giorno 13 maggio le ore di alta e bassa marea a Trieste e le relative ampiezze.

R: Trieste è porto principale, pertanto è sufficiente entrare nella tavola relativa (parte I):

<u>Ora</u> (hh.mm)	<u>Altezza</u> (m)	<u>Marea</u> (AM/BM)
01.06	0,18	BM
06.58	0,70	AM
12.35	0,23	BM
19.01	1,00	AM

2. Ammettendo che nella data considerata (13/5) la pressione atmosferica si fosse mantenuta stabile e corrispondesse a 1030hPa, quale sarebbe la correzione da apportare ai valori di lettura?

R: dalla tabella di correzione si ricava che:

<u>Pressione</u> (hPa)	<u>Correzione</u> (m)
1028	- 0,15
1033	- 0,20

per cui, interpolando, si ricava che la correzione da apportare corrisponde a: - 0,17m. I valori corretti per pressione della marea risultano pertanto i seguenti:

<u>Ora</u> (hh.mm)	<u>Altezza</u> (m)
01.06	0,01
06.58	0,53
12.35	0,06
19.01	0,83

3. Calcolare per la medesima data gli istanti e le ampiezze dell'alta marea relativa a Grado.

R: Grado è un porto secondario. Il porto campione corrispondente è Venezia. Gli istanti di marea e le corrispondenti ampiezze a Venezia sono:

<u>Ora</u> (hh.mm)	<u>Altezza</u> (m)
02.18	0,21
08.16	0,68
13.44	0,25
20.17	0,96

il valore di Δt corrisponde a:

$$\Delta t = - 21 \text{ minuti}$$

Ne segue che (ci limitiamo al primo valore):

tpc	08.16
+ Δt	-00.21
tps	07.55

L'ampiezza si determina invece con il metodo delle differenze, essendo che R (ultima colonna relativa al porto secondario) corrisponde ad un valore compreso tra 1,02 (sizigie) e 1,06 (quadrature), con valore medio pari a 1,04. Si ha pertanto che:

$$h_{ps} = h_{pc} + \Delta h = 0,21 + 0,01 = 0,22$$

In modo analogo si ricava l'istante e l'ampiezza relativa alla seconda alta marea. Si noti che al caso occorre procedere ad interpolazione lineare.

4. Calcolare per la medesima data l'istante e l'ampiezza della prima alta marea relativa ad Alicante.

R: Alicante è un porto secondario. Il porto campione corrispondente è Gibilterra. Gli istanti di marea e le corrispondenti ampiezze a Gibilterra sono:

<u>Ora</u> (hh.mm)	<u>Altezza</u> (m)
23.26 12/05	0,87
05.40	0,19
12.00	0,86
18.00	0,20

MAREE

Il fenomeno cercato avviene, a Gibilterra, alle ore 12.00. Il valore di $Z_0 = 0,53\text{m}$, quello di $Z_0' = 0,15\text{m}$, mentre quello di Δt corrisponde a:

$$\Delta t = +14 \text{ minuti}$$

ne segue che:

tpc	12.00
+ Δt	00.14
tps	12.14

L'ampiezza si determina invece con il metodo dei rapporti che R (ultima colonna relativa al porto secondario) corrispondente ad un valore di 0,05.

Si ha pertanto che:

$$\Delta = H_{PC} - Z_0 = 0,86 - 0,53 = 0,33$$

$$\Delta R = 0,33 \times 0,05 = 1,65$$

$$H_{PS} = Z_0' + (\Delta R) = 0,15 + 1,65 = 1,80$$

5. Da una nave in rada alle ore 13.30 si misura una profondità di 6,22 metri. Determinare la quota del bassofondo sapendo che i dati forniti dalle tavole di marea sul Chart Datum (CD) sono:

Marea	Ora	Altezza
BM	11.12	1,00
AM	17.42	1,80

R: E' evidente una variazione di 0,80m. ed un intervallo temporale di 06h 30m. Si può facilmente osservare che ho una variazione oraria corrispondente a 0,12m.

Ne segue la proporzione:

$$6,5 : 0,80 = (13.30 - 11.12) : x$$

$$x = (0,80 \cdot 2,3) / 6,5 = 0,28$$

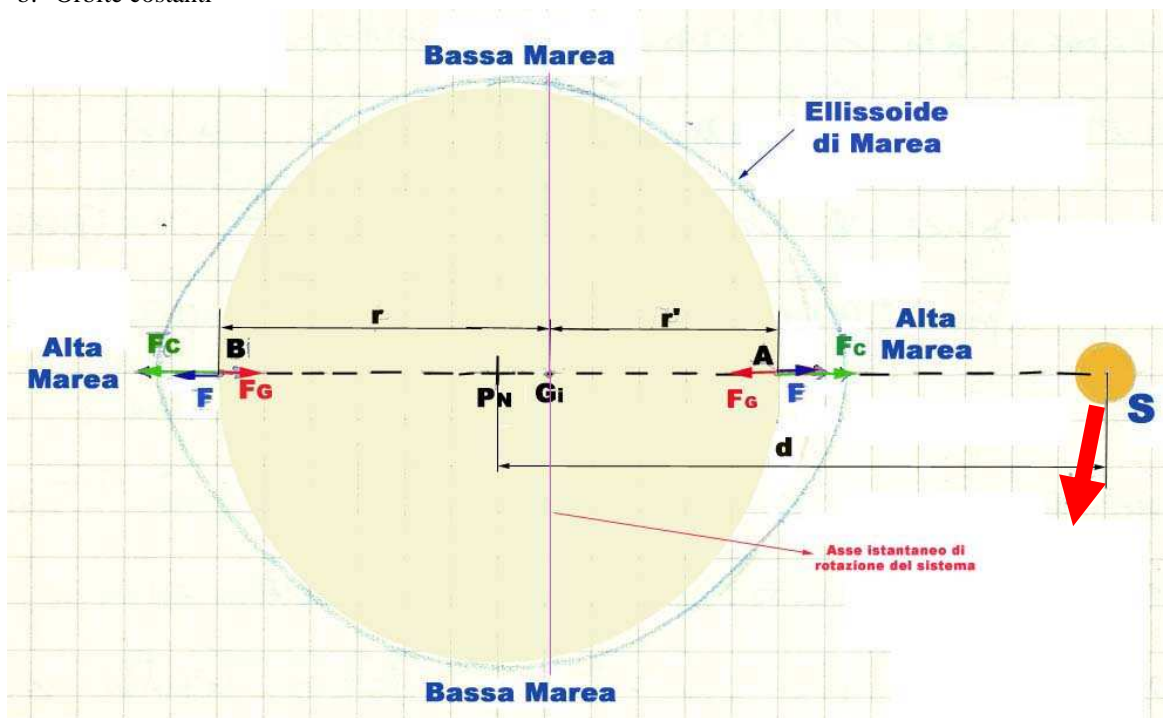
Si conclude che:

h	6,22
- Δh	0,28
h_{CD}	5,94m

Maree in versione semplificata

Determineremo la marea teorica con un solo astro, nelle seguenti ipotesi semplificative:

1. Terra interamente coperta di acqua
2. Satellite a $\delta = 0^\circ$
3. Acqua
 - a. non risente dell'attrito con il fondo;
 - b. priva di viscosità (non c'è attrito interno)
 - c. risponde istantaneamente alle sollecitazioni meccaniche
4. Sistema Terra-Satellite
 - a. Distanza costante
 - b. Orbite costanti



MAREE

Nella figura F_G è la forza gravitazionale, F_C è la forza centrifuga, F è la forza risultante (quella che determina l'alta marea), G_i è il baricentro istantaneo del sistema Terra-Satellite.

L'acqua, per l'attrazione del satellite dovrebbe alzarsi in A ed abbassarsi in B, però bisogna considerare che l'asse di questo sistema non è più l'asse polare, ma un asse istantaneo, che si trova più vicino al satellite. Ne segue che $r > r'$. Questo implica che in B la forza centrifuga sarà molto maggiore di quella che troviamo in A. Le forze risultanti genereranno così un'alta marea sia in A che in B.

Essendo poi, per ipotesi che l'acqua risponde in modo istantaneo alle sollecitazioni, come si muove il satellite, così risponde l'acqua, determinando l'ellissoide di marea.

Ad un giro del satellite in A si hanno 2 alte e 2 basse maree. Poiché la luna impiega più di 24 ore per compiere l'intera rivoluzione le maree non sono costanti, ma c'è uno sfasamento continuo.

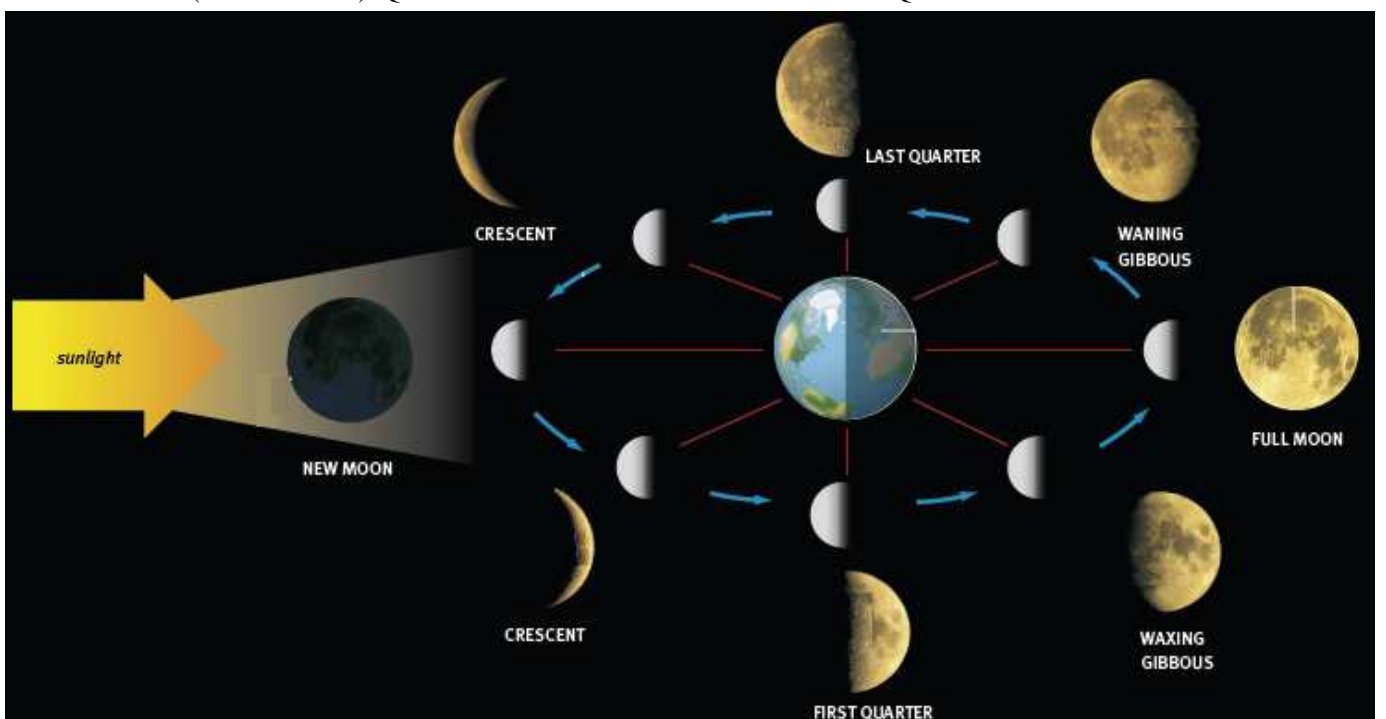
1. 2 ALTE e 2 BASSE MAREE (caratteristiche fondamentali delle maree); è condizionante il passaggio della luna in meridiano ed in antimeridiano.
2. ALTA MAREA con astro in meridiano ed in antimeridiano.
3. DUE ALTE maree uguali

Questi elementi sono la base per adattare il fenomeno teorico e quello reale.

Marea Lunisolare



Il sole fa un giro in 24 ore, la luna in più di 24 ore; quando il sole ritorna in meridiano dopo il NOVILUNIO, la luna per il ritardo, è un po' indietro. A seconda del maggiore ritardo la vedo sempre più illuminata, finché a 90° dal sole la vedo illuminata a metà (PRIMO QUARTO o NEAP TIDE o QUADRATURA). Da qui arriva in SIZIGIA nuovamente, ma in OPPOSIZIONE (PLENILUNIO). Quindi nuovamente decresce fino all'ULTIMO QUARTO e nuovamente al NOVILUNIO.



MAREE

L'intervallo di tempo intercorrente tra due noviluni si chiama RIVOLUZIONE SINODICA e corrisponde a 29,53 giorni. Tale rivoluzione è di 2,2 giorni più grande della RIVOLUZIONE SIDEREA (o SIDERALE), che è il tempo in cui la luna fa un giro intorno alla terra (ed è pari a 27,3 giorni), a causa del fatto che dopo una rivoluzione siderea il sole si sarà spostato sulla propria eclittica di circa 27° (1° al giorno) e quindi per avere un'ulteriore congiunzione la luna deve avanzare ulteriormente.

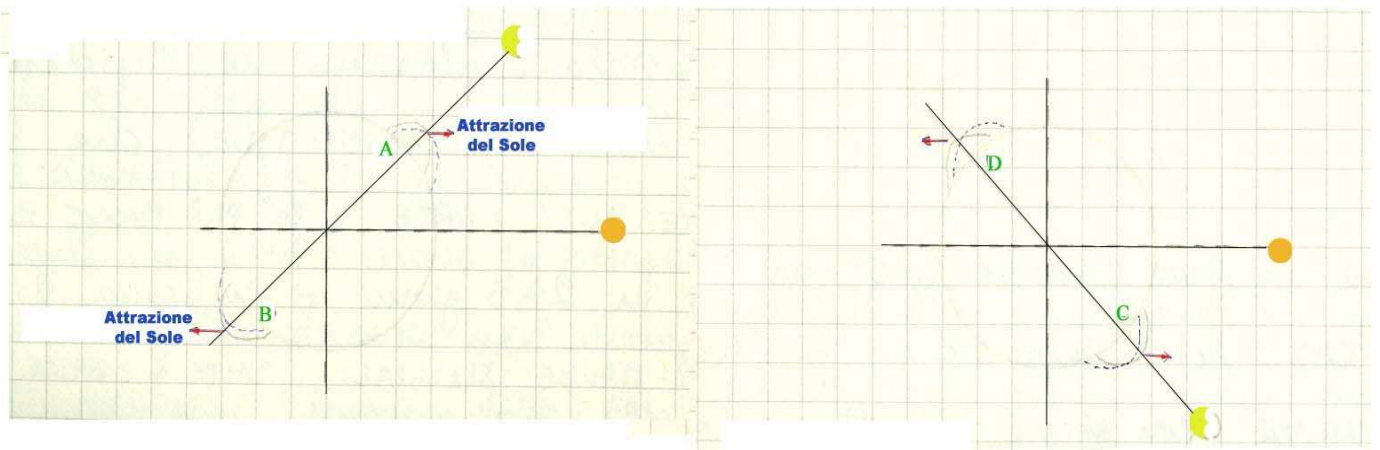
Dei due pianeti, quello più influente per le maree è la luna (più piccola, ma più densa e vicina). Quando sole e luna sono in congiunzione, il fenomeno viene però esaltato: abbiamo le cosiddette MAREE SIZIGIALI (SPRING TIDE), che generano le più ALTE ALTE MAREE e le più BASSE BASSE MAREE. In 29,5 giorni si verificano 2 SIZIGE, quindi 2 MAREE SIZIGIALI (2 ALTE E 2 BASSE). Alle QUADRATURE, il sole contrasta la luna che però ha l'effetto prevalente. L'effetto della marea è comunque ridotto ed abbiamo le MAREE ALLE QUADRATURE (NEAP TIDE) che danno luogo alle PIU' BASSE ALTE MAREE e le PIU' ALTE BASSE MAREE, che si verificano due volte al mese.

Ineguaglianza delle fasi nelle ore

Quando sole e luna non sono in congiunzione o in opposizione, il sole disturba l'azione della luna, generando un'attrazione sull'onda di marea. Nel caso in figura la marea si verifica PRIMA del passaggio dell'astro al meridiano (cioè anticipa).

$$t_{\text{psLUNA}} \pm i = t_{\text{marea}}$$

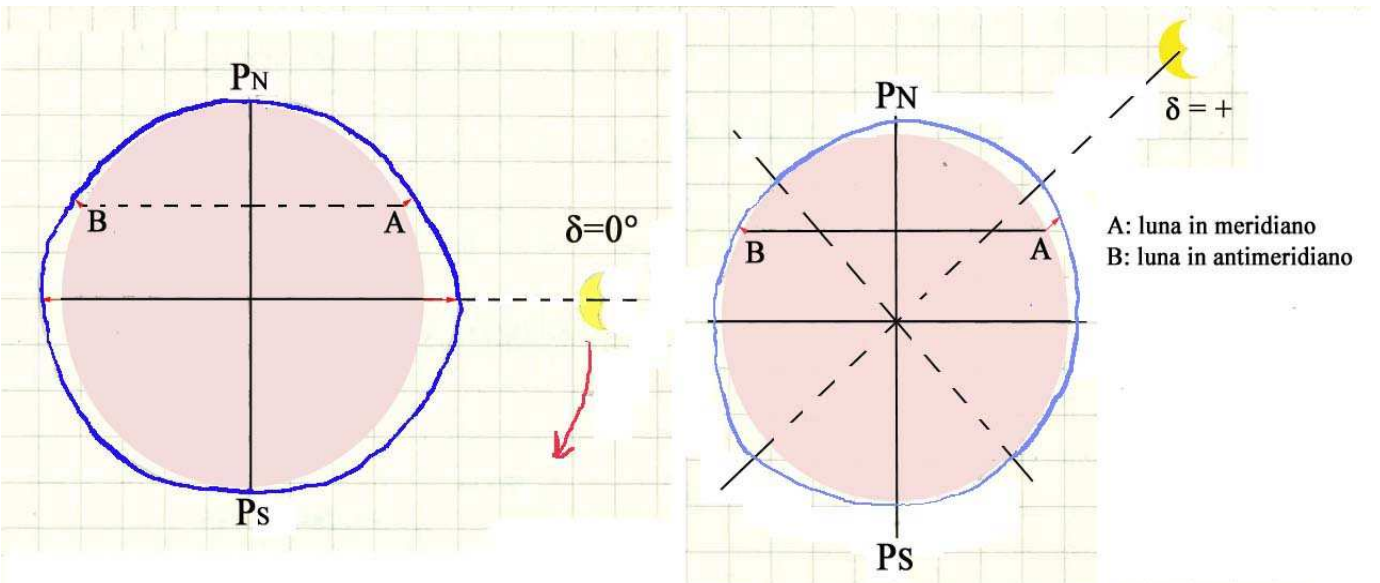
dove i è negativo se anticipa, positivo se ritarda.



Tra ultimo quarto e novilunio, invece, la marea ritarda. Il massimo anticipo o il massimo ritardo si hanno quando la luna è a 45° rispetto al sole.

Ineguaglianza diurne o ineguaglianza di fase nelle altezze

Sappiamo che la luna non ha $\delta=0^\circ$. Questo aspetto ha la conseguenza che l'ellissoide di marea non ruoterà attorno all'asse P_N - P_S , ma in modo eccentrico. Per questo motivo due località poste alla medesima latitudine non avranno la medesima marea, come si può vedere in figura.



L'ineguaglianza diurna (I_D) o di fase nelle altezze ($I_{F.H.}$) è pari a

$$I_D = I_{F.H.} = h_{AM_A} - h_{AM_B}$$

Quest'ultima non è costante; la luna, infatti può allontanarsi o avvicinarsi alla Terra tra una lunazione e l'altra, variando lo schiacciamento dell'ellissoide. Il sole, inoltre, esercitando la sua azione fa anche variare il semiasse dell'ellissoide, come in figura.

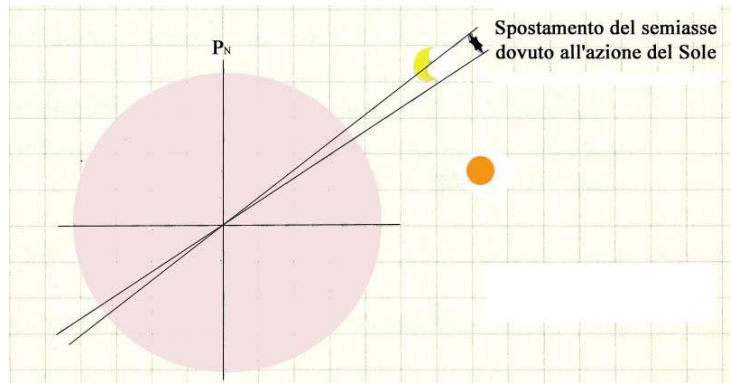
MAREE

La variabilità del fenomeno della marea è quindi funzione delle posizioni reciproche di sole e luna. Poiché tali astri si muovono in modo difforme l'uno dall'altro, le variabili da prendere in considerazione sono troppe. Se poi aggiungiamo anche il fatto che l'acqua è viscosa e, quindi, offre una certa resistenza, ecco che il problema si complica ulteriormente.

Fondamentalmente avremo:

- 1) 2 alte maree e 2 basse maree;
- 2) Le maree saranno generate prevalentemente dalla luna;
- 3) Avremo 2 alte maree e 2 basse maree sizigiali;
- 4) L'attrito potrà solo RITARDARE il fenomeno (fino al limite di provocare solo due maree).

Questa complessità non ci permette di prevederlo in maniera semplice. Parlare quindi di previsione vuol dire analizzare attentamente i dati ottenuti dalle osservazioni e cercare di prevedere il loro sviluppo nel tempo. La curva di marea è ottenuta dal MAREOGRAFO.



Riferimenti Bibliografici

- ❑ ANPA "Elementi di identificazione delle acque di transizione" RTI CTN_AIM 6./2000
- ❑ Capasso, Fede "Navigazione" Vol II Ed. Hoepli
- ❑ Flora "Astronomia Nautica" Ed. Hoepli
- ❑ <http://astroemagazine.astrofili.org>
- ❑ <http://scuole.provincia.ps.it/>
- ❑ Istituto Idrografico della Marina "Manuale dell'Ufficiale di Rotta"
- ❑ Istituto Idrografico della Marina "Tavole di Marea"
- ❑ Nicoli "Navigazione Astronomica" Ed. Del Bianco
- ❑ www.arcturus.len.it/maree.htm
- ❑ www.biggame.it/maree/
- ❑ www.comune.venezia.it/maree/
- ❑ www.geocities.com_CapeCanaveral_Lab_2166_gakdsp1.htm
- ❑ www.mtsn.tn.it/astrofili
- ❑ www.nauticoartiglio.lu.it
- ❑ www.velaemotore.it
- ❑ http://navigaz.uniparthenope.it/sez_nav/downloads/navii0809/capitolo08.pdf
- ❑ http://4.bp.blogspot.com/-G4lBa3FAi_w/TzJxtY9GBII/AAAAAAAAABMQ/yh3bgF064sY/s1600/fasilunari.jpg