►Era veramente piacevole insegnare navigazione nel triennio nei tempi in cui i Nautici italiani erano all'avanguardia nel mondo. Era l'epoca in cui l'insegnamento di questa disciplina si divideva in due cattedre:

· la cattedra formata da sette ore in terza e altrettante in quarta,
· la cattedra formata da quattordici ore in quinta.

Tra i tanti argomenti di astronomia venivano trattate le eclissi di Sole.

Durante una lezione uno studente mi chiese come potesse avvenire l'eclisse di Sole constatato che la Luna è molto più piccola del Sole.

Risposi che era solo una questione di proporzioni tra grandezze che coinvolgono il nostro satellite e la nostra stella.

● **DISTANZE.**

■ Il moto di rivoluzione della Luna (satellite naturale) attorno al nostro pianeta ha forma ellittica per cui la distanza tra i centri della Luna e della Terra non è costante, ovvero dipende dalla posizione che la Luna ha sull'orbita, in particolare:

	distanza minima al PERIGEO	distanza massima all'APOGEO	distanza media
in chilometri	363 100	405 500	384 300

■ Il moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole ha forma ellittica per cui la distanza tra i centri del Sole e della Terra non è costante, ovvero dipende dalla posizione che la Terra ha sull'orbita, in particolare:

	distanza minima al PERIELIO	distanza massima all'AFELIO	distanza media
in chilometri	147 100 000	152 100 000	149 600 000

OSSERVAZIONE 1. Le distanze medie riportate nelle tabelle sono le medie aritmetiche tra le corrispondenti distanze minima e massima.

OSSERVAZIONE 2. Nel 2012 è stata definita l'unità astronomica di distanza (*AU*), usata per esprimere le distanze all'interno del Sistema Solare; essa corrisponde, con approssimazione, alla distanza media del Sole dalla terra; il suo valore è:

$$1\ AU = 149\ 597\ 870\ 700\ m.$$

• RAGGI

LUNA

	raggio equatoriale	raggio polare	raggio medio
in chilometri	1 738	1 736	1 737

SOLE

	raggio equatoriale	raggio polare	raggio medio
in chilometri	695 500	695 450	695 475

• RAPPORTI

Luna e Sole (così come è per la Terra) non sono sfere perfette, ma leggermente schiacciate ai poli, per cui non si può definire un valore assoluto dei loro raggi; come risulta dalle tabelle possiamo definire il loro raggio massimo e minimo e quindi un ***raggio medio***; è a quest'ultimo a cui facciamo riferimento per i nostri calcoli.

1. Rapporto α tra la distanza media Terra-Sole e la distanza media Terra-Luna

$$\alpha = \frac{149{\cdot}600{\cdot}000}{384{\cdot}300} \cong 389 \qquad (1)$$

2. Rapporto β tra il raggio medio del Sole e quello della Luna

$$\beta = \frac{695{\cdot}475}{1{\cdot}737} \cong 400\,. \qquad (2)$$

Dal confronto delle (1) e (2) emerge che:

1. Il Sole è lontano dalla Terra circa 400 volte di più di quanto, da questa, dista la Luna.
2. Il diametro del Sole è circa 400 volte più grande di quello della Luna.

La concomitanza di questo rapporto comune tra le distanze e tra le grandezze dei due astri (Sole e Luna) è da considerarsi una fatalità? Non saprei cosa rispondere, ma una cosa è certa: è proprio la condizione per cui noi possiamo osservare le eclissi totali del Sole.

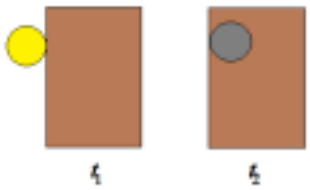
DIAMETRO APPARENTE.

Si definisce diametro apparente di un corpo celeste l'angolo sotto il quale esso viene visto da un osservatore posto in un punto della Terra; esso dipende da due fattori:

1. dalla sua distanza dalla Terra,
2. dalla sua grandezza.

Come si può verificare che i diametri apparenti dei due astri sono pressoché uguali?

- Misurare di notte, con un cronometro, l'intervallo Δt (espresso in secondi) di tempo che impiega la Luna piena a nascondersi dietro lo spigolo di una casa, come rappresentato nella seguente figura



nella quale nell'istante t_1 lo spigolo della casa è tangente al lembo destro della Luna e nell'istante t_2 è tangente al lembo sinistro. L'angolo apparente ϑ_L (espresso in gradi sessagesimali) si ottiene dalla proporzione:

$$\frac{\vartheta^{\circ}_{L}}{360^{\circ}} = \frac{(\Delta t)^{m}}{1440^{m}} \qquad \text{dove } \Delta t = t_2 - t_1 .$$

- Operare, di giorno, allo stesso modo col Sole, avendo la precauzione di usare un filtro adeguato per non rovinarsi la vista. Si otterrà un valore ϑ_S quasi uguale a ϑ_L.

Ma, credo che il modo più veloce sia quello di fotografare i dischi dei due astri, con lo stesso obiettivo di una macchina fotografica a pellicola e successivamente sovrapporre i due negativi provando che un disco copre l'altro e viceversa.

■Si possono determinare i diametri apparenti degli astri mediante l'equazione

$$\vartheta = 2 \cdot \arctan \frac{R}{D},$$

nella quale è:

· R il raggio medio del corpo celeste considerato,
· D la distanza media dello stesso dalla Terra.

Proviamo che i diametri apparenti del Sole e della Luna sono quasi uguali:

· per il **Sole**:

$$\vartheta = 2 \cdot \arctan \frac{695{\cdot}470}{149{\cdot}600{\cdot}000} \cong 0.533^{\circ},$$

· per la **Luna**:

$$\vartheta = 2 \cdot \arctan \frac{1{\cdot}737}{384{\cdot}300} \cong 0.518^{\circ} ,$$

da cui la conferma della circa uguaglianza dei diametri apparenti dei due astri, ovvero quei diametri angolari come appaiono dalla Terra.

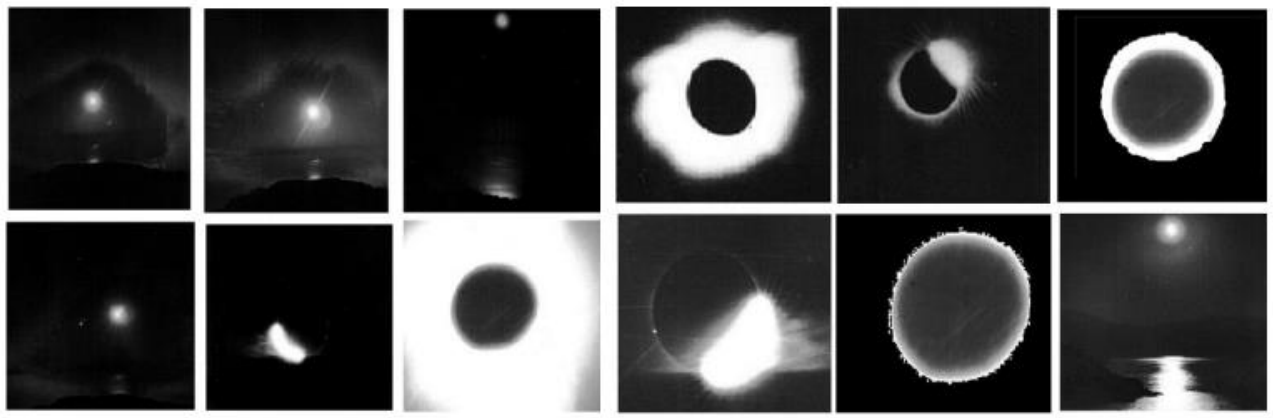
SPIGOLATURA.

La superficie S della Luna, misurata in Km^2 è

$$S = \left(4 \cdot \pi \cdot 1737^2\right) Km^2 \cong 37\,914\,864 Km^2$$

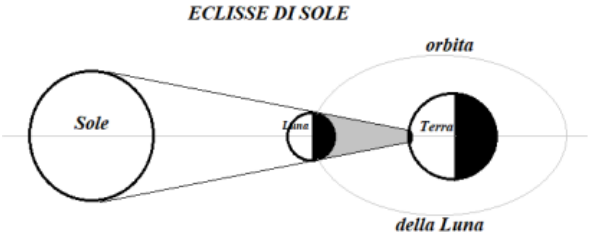
Per dare un'idea dell'estensione della superficie lunare, confrontiamola con l'estensione del nostro vecchio continente: l'Asia. Esso si estende per circa 44 579 000Km^2. Se la superficie lunare fosse equivalente a quella dell'Asia, il suo raggio medio sarebbe 1883Km, ovvero dovrebbe aumentare il suo raggio medio effettivo di circa 146 Km.

►Ho avuto il piacere di assistere all'eclisse totale di Sole del 15/2/1961 da un luogo molto suggestivo: la sommità del promontorio di Portofino. Munito di una macchina fotografica (una Durst) dotata di un buon obiettivo ed un adeguato filtro ho scattato diverse fotografie; ne riporto alcune; in alcune si rileva l'istante dell'eclisse totale del Sole con la spettacolosa corona.



Ed ecco la macchina fotografica con cui scattai le precedenti fotografie

►Nella seguente figura è rappresentato il meccanismo dell'eclisse totale di Sole



Durante il movimento di rivoluzione della Luna attorno alla Terra si possono registrare eclissi totali di Sole al novilunio. E' in questa circostanza in cui la Luna proietta dietro di sé un cono d'ombra che produce una eclisse totale di Sole. Se non esistesse l'inclinazione di 5°, sull'eclittica, dell'orbita della Luna, ad ogni plenilunio vi sarebbe sempre una eclisse totale di Sole ma, in questa

situazione, non esisterebbero più i nodi, punti di intersezione dell'orbita della Luna con l'eclittica, infatti l'orbita della Luna sarebbe complanare con l'eclittica.

E' proprio dovuta alla suddetta inclinazione la rarità di questo meraviglioso evento.

►La durata dell'eclisse totale del Sole ha una durata breve; essa dipende dalle grandezze apparenti del Sole e della Luna.
All'afelio (mese di luglio) il disco del Sole presenta all'osservatore un diametro apparente di 31.4', mentre la Luna al perigeo presenta un diametro apparente di 33.6'; pertanto risulta una differenza di 2.2'. La durata dell'eclisse solare totale dipende dal tempo che la Luna impiega a descrivere un "segmento" uguale a questa differenza che, per un ipotetico osservatore situato al centro della Terra, viene valutato in 3.8^m. Ma, il fenomeno viene osservato dalla superficie terrestre ed allora bisogna tenere conto del movimento di rotazione della Terra intorno al proprio asse, che ha l'effetto di rallentare il moto apparente della Luna, pertanto la durata viene quasi a raddoppiarsi; quindi l'eclisse del Sole, nella fase centrale, dura all'incirca 8^m.

►Gli scienziati avvertono: la Luna si sta allontanando dalla Terra.
La Luna si allontana di circa **3,8 centimetri ogni anno**. Tra 200 milioni di anni un giorno terrestre durerà 25 ore, mentre in passato, quando la Luna era più vicina, ne durava meno di 20. Le conseguenze saranno molteplici, anche perché la Luna si allontanerà incessantemente, provocando la fine delle maree e delle stagioni. La Luna orbiterà abbastanza lontano da far perdere all'umanità una delle sue più antiche visioni cosmiche: le eclissi solari totali. La Luna non sarà in grado di bloccare la luce del sole e proiettare la propria ombra sulla Terra e l'allungamento dei giorni darà vita ad una maggiore escursione termica tra giorno e notte.

►Termino questa mia disertazione con qualche cenno storico.

- **Giovanni Antonio Amedeo Plana** (1781-1864, scienziato, astronomo italiano) scrisse sul suo testo "Teoria della Luna": "*Questo astro, che si è creduto essere stato dato alla Terra per illuminarla nelle notti, offre all'umanità un vantaggio più prestigioso*"
- **Alfonso Fresa** (1901-1985, matematico, astronomo, geodeta italiano) fu astronomo presso l'Osservatorio di Capodimonte e libero docente di astronomia; fu mio docente di astronomia geodetica all'Istituto Universitario Navale di Napoli. Fu attivo nei campi delle osservazioni e del calcolo di orbite di asteroidi e comete, delle occultazioni e delle stelle variabili, oltre che delle osservazioni sistematiche di latitudine. Si occupò inoltre di divulgazione astronomica e di questioni attinenti alla cronologia ed al calendario. Molto noto ed apprezzato anche fuori d'Italia il suo ottimo libro La Luna (Hoepli): mi regalò l'edizione del 1952 che tengo come una reliquia, allo stesso modo del libro "Il Sole" di Abetti. Fu presidente della **International Lunar Association**, che nel 1974 gli dedicò un cratere lunare.
- **Giorgio Abetti** (1882-1982, astronomo e fisico italiano), direttore dell'Osservatorio di Arcetri e professore di astronomia presso l'Università di Firenze. A lui si devono numerose ricerche sulle stelle doppie e sul Sole (in modo particolare sulla cromosfera solare) condotte, queste ultime, mediante una torre solare, la prima in Italia, da lui realizzata nel 1925; ha scritto opere di storia della scienza e di divulgazione scientifica (tra esse: *Il Sole*). Riporto uno stralcio della prefazione che scrisse per il libro "La Luna (edizione 1952)" di Fresa: "… *non sappiamo cosa ci riserva il futuro più o meno prossimo, ma sembra oggi che grandi speranze possano essere riposte nell'energia subatomica. Essa potrebbe rendere possibile ciò che oggi sembra inattuabile, cioè proprio quei viaggi che ci condurrebbero in pochi giorni dalla Terra ad altri pianeti. Come bene osserva il Fresa non bisogna dimenticare le possibilità dell'organismo umano, perché mentre si sviluppano macchine sempre più potenti e complicate, non sembra facile cambiare la macchina uomo e il suo funzionamento. I miracoli compiuti dalla scienza e dalla tecnica in tempi recenti, sono tali che nulla sembra più irraggiungibile per la mente umana e poiché già si affronta il problema di inviare un razzo, per ora senza passeggeri, alla Luna, è naturale che si formulino e discutano ben più audaci propositi ….*"

Nell' OSSERVAZIONE 2. ho citato l'unità astronomica di distanza (*AU*); allora riporto un problema che utilizza, nella soluzione, questa unità. E' il terzo quesito della simulazione inviata ai Nautici, dal Ministero dell'Istruzione.

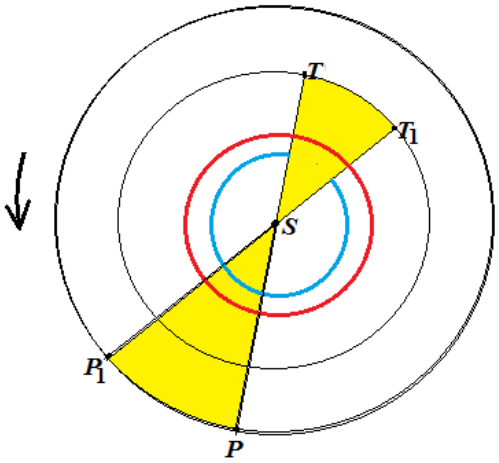
Ed ecco il terzo **QUESITO** proposto (il testo è riportato, come "oggetto" estraendolo proprio dal **documento ufficiale del Ministero**)

3) Un osservatore annota che un certo pianeta è in opposizione ogni 665,25 giorni. Il Candidato calcoli la distanza del pianeta dal Sole, in unità astronomiche.

SOLUZIONE

Premetto alcune semplificazioni:

1. velocità costante di ciascun pianeta attorno al Sole;
2. orbite dei pianeti perfettamente circolari (le orbite ellittiche hanno piccola eccentricità: la massima, *e*=0.249, è quella di Plutone);
3. I "giorni" (medi) di una rivoluzione completa della Terra siano 365.25.



Con queste premesse mi riferisco alla figura, nella quale, è:

- ***TSP*** la situazione di un istante in opposizione;
- ***T*₁*SP*₁** la situazione della successiva opposizione, ottenuta dopo 665.25 giorni; per avere questa seconda situazione, la Terra ha compiuto una rivoluzione completa in 365.25 giorni (*circolo rosso*), più una ulteriore traiettoria (*arco azzurro*) dovuta ai successivi 665.25 – 365.25 = 300 giorni.

Determino, mediante proporzione, l'angolo descritto dal raggio vettore della Terra nei 300 giorni (arco azzurro, **tenere presente il senso della freccia nera in figura**):

$$\frac{365\ .25}{360\ ^\circ} = \frac{300}{(TST_1)^\circ} \qquad \Rightarrow \qquad (TST_1)^\circ = \frac{360\ ^\circ \cdot 300}{365\ .25} \approx (295\ .69)^\circ .$$

Determino, mediante proporzione, i giorni (medi) di rivoluzione del pianeta *P*:

$$\frac{(295.69)^\circ}{665.25} = \frac{360^\circ}{giorni} \quad \Rightarrow \quad giorni = \frac{360^\circ \cdot 665.25}{(295.69)^\circ} \approx 809.94 .$$

Dall'equazione che esprime la terza legge di Keplero:

$$\frac{T^2}{T_1^2} = \frac{r^3}{r_1^3} \qquad (1)$$

nella quale pongo $r = 1$ *U.A.*, ho:

$$\frac{365.25^2}{809.94^2} = \frac{1}{r_1^3} \quad \Rightarrow \quad r_1 = \sqrt[3]{\frac{809.25^2}{365.25^2}} \approx 1.7\ \boldsymbol{AU}$$

Considerata la distanza Terra-Sole pari a 149 600 000 *Km*, la distanza in chilometri del pianeta (citato nel testo) dal Sole è:

(149 600 000·1.7) *Km* = 254 320 000*Km*.