

La scuola adotta un esperimento
per
Esperienza InSegna 2012

**Il transito di Venere
(i transiti planetari)**

Luigi Scelsi & Antonio Maggio

Scuole partecipanti	N° studenti
Liceo Scientifico “E. Basile” Palermo	11
Liceo Classico “Umberto I ” Palermo	11
Istituto “P. Domina” Petralia Sottana	4
Liceo Scientifico “S. Cannizzaro” Palermo	12
Liceo Scientifico “A. Einstein” Palermo	18
Liceo Scientifico “G. Galilei” Palermo	11

Date delle lezioni:

1. Giovedì 26 Gennaio (spiegazione)
2. Giovedì 2 Febbraio (spiegazione)
3. Giovedì 16 Febbraio (ripetizione e revisione dei lavori)

Orario: 15:30-18:30

Il transito di Venere (i transiti planetari)

Obiettivi

- studio degli aspetti principali del transito di Venere davanti al disco solare e dei transiti planetari
- preparazione di un poster e conoscenza di *Stellarium*
- partecipazione come espositori a *Palermo Scienza – Esperienza InSegna 2012* (dal 25 Febbraio al 4 Marzo)

Cos'è Stellarium ?

Gli aspetti principali del transito di Venere e dei transiti planetari

Premessa

- cosa è un “transito” ?
- il transito di Venere del 6 giugno 2012: cosa vedremo e da dove sarà visibile?
- Un po' di goniometria

1. Frequenza dei transiti di Venere
2. La determinazione della distanza Terra-Sole: da Aristarco di Samo (~250 a.C.) ai transiti di Venere del '700 e '800
3. Transiti planetari e scoperta di pianeti extrasolari

Organizzazione per *Esperienza InSegna* 2012

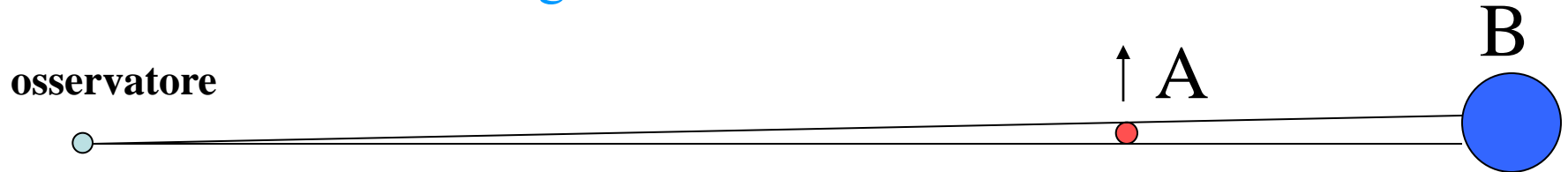
- Divisione dei partecipanti in 6 gruppi da 10 studenti (circa)
- Ogni gruppo, suddiviso in 3 sottogruppi, prepara un poster (formato elettronico, consegna e revisione: 16 Febbraio)
- Ogni gruppo partecipa a *Esperienza Insegna* ed espone il lavoro in uno dei 6 giorni della manifestazione

Gruppo _____ giorno

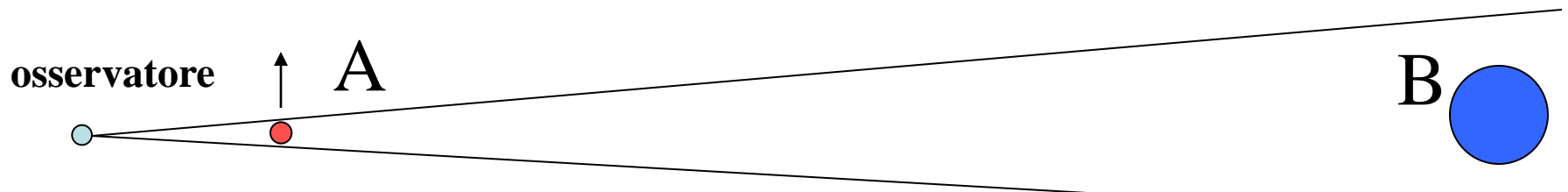
1. Cannizzaro
2. Basile
3. Galilei
4. Einstein A
5. Einstein B + P.Domina
6. Umberto I

Transiti, occultazioni, eclissi

Si verificano quando un corpo A, più vicino di un corpo B, si interpone tra l'osservatore e B lungo la stessa linea di vista



- dimensioni apparenti di A significativamente più piccole di quelle di B → **TRANSITO**

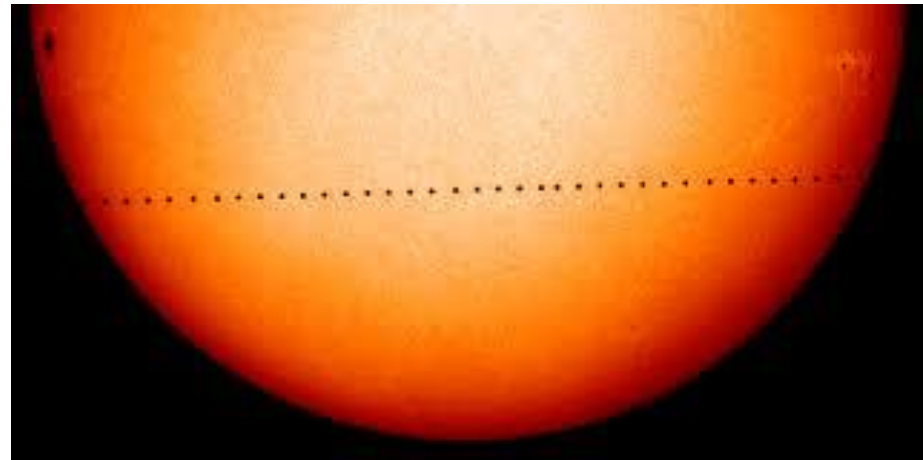
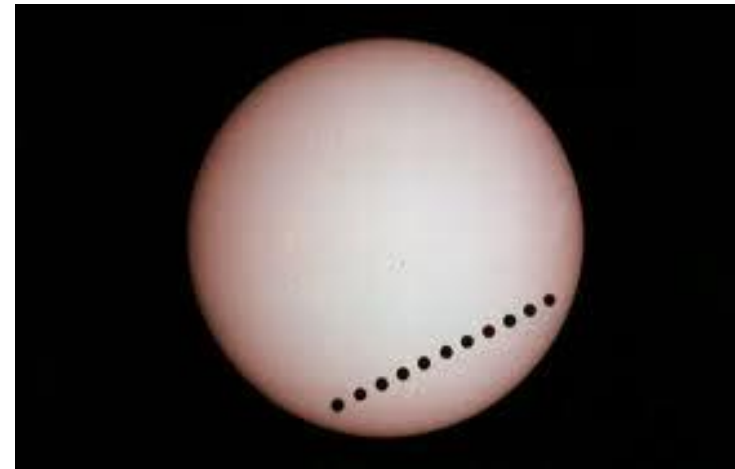
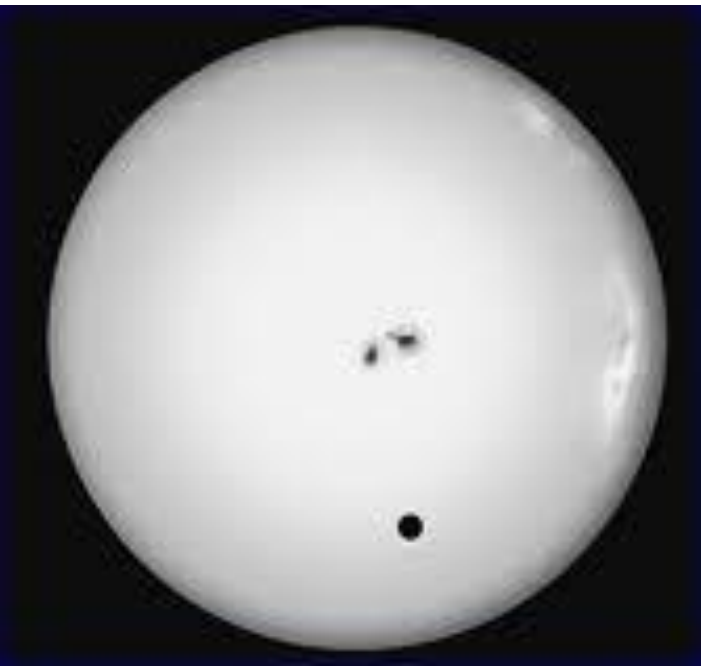


- dimensioni apparenti di A significativamente più grandi di quelle di B → **OCCULTAZIONE**



- dimensioni apparenti di A uguali a quelle di B → **ECLISSE**

PHOTOGALLERY



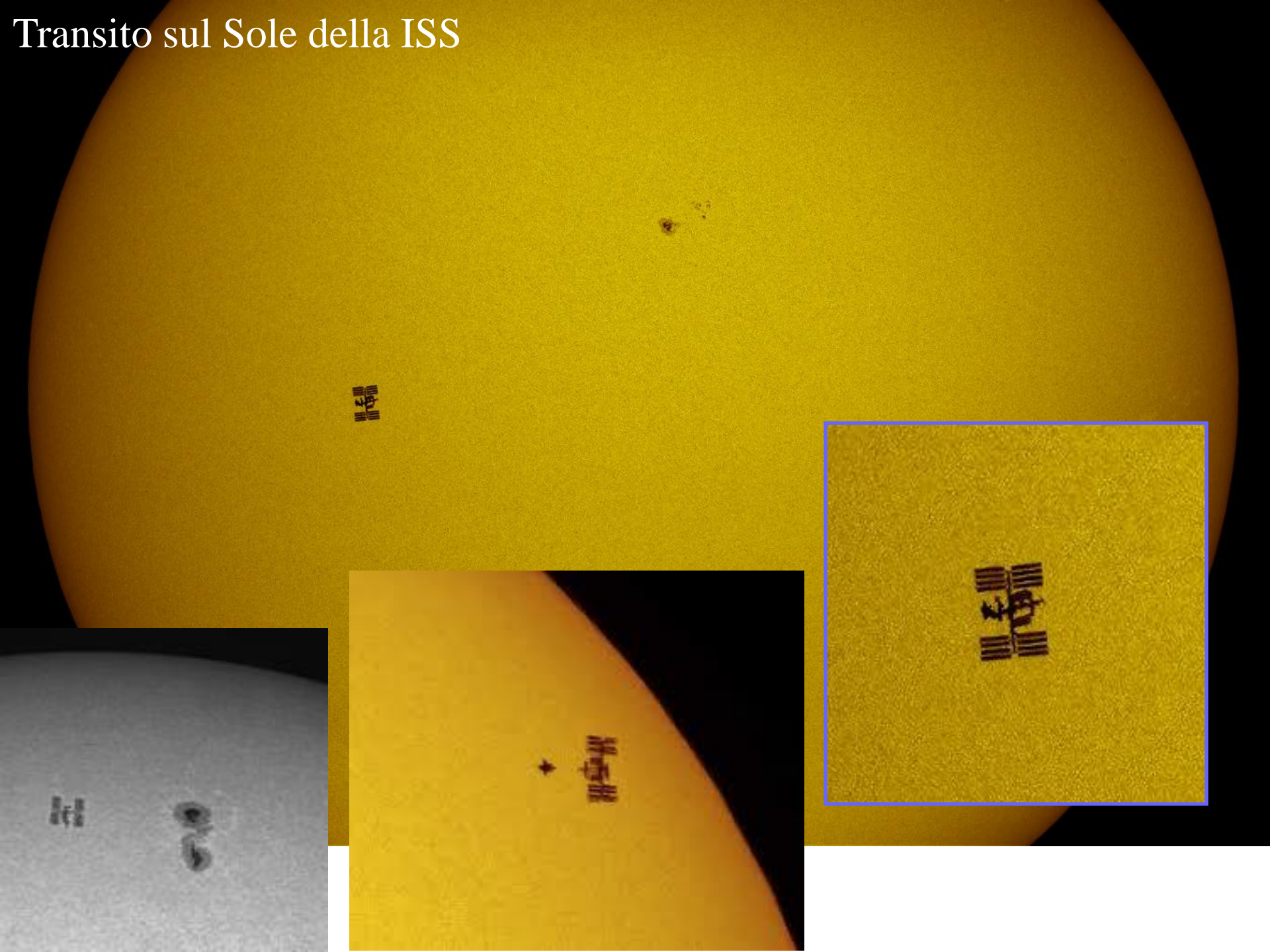
Transito della Luna visto dal satellite STEREO B



Transiti di Phobos (basso) e Deimos (destra) sul Sole visto dal rover marziano Opportunity nel 2004



Transito sul Sole della ISS










La Luna occulta Venere



Uspita di Venere dal disco lunare nell'occulazione del 18 giugno 2007 alle ore 17:54:08 - Marco Paiella



Luna e Pleiadi



Occultazione di Ganimede (sinistra) e Europa (destra) da parte di Giove



Phobos “sfiora” Giove; fotografie della sonda marziana Mars Express

Saturno occultato
dalla Luna nel 2007



“Eclisse” di Luna



La Terra occultata dalla
Luna, vista dall'Apollo 17



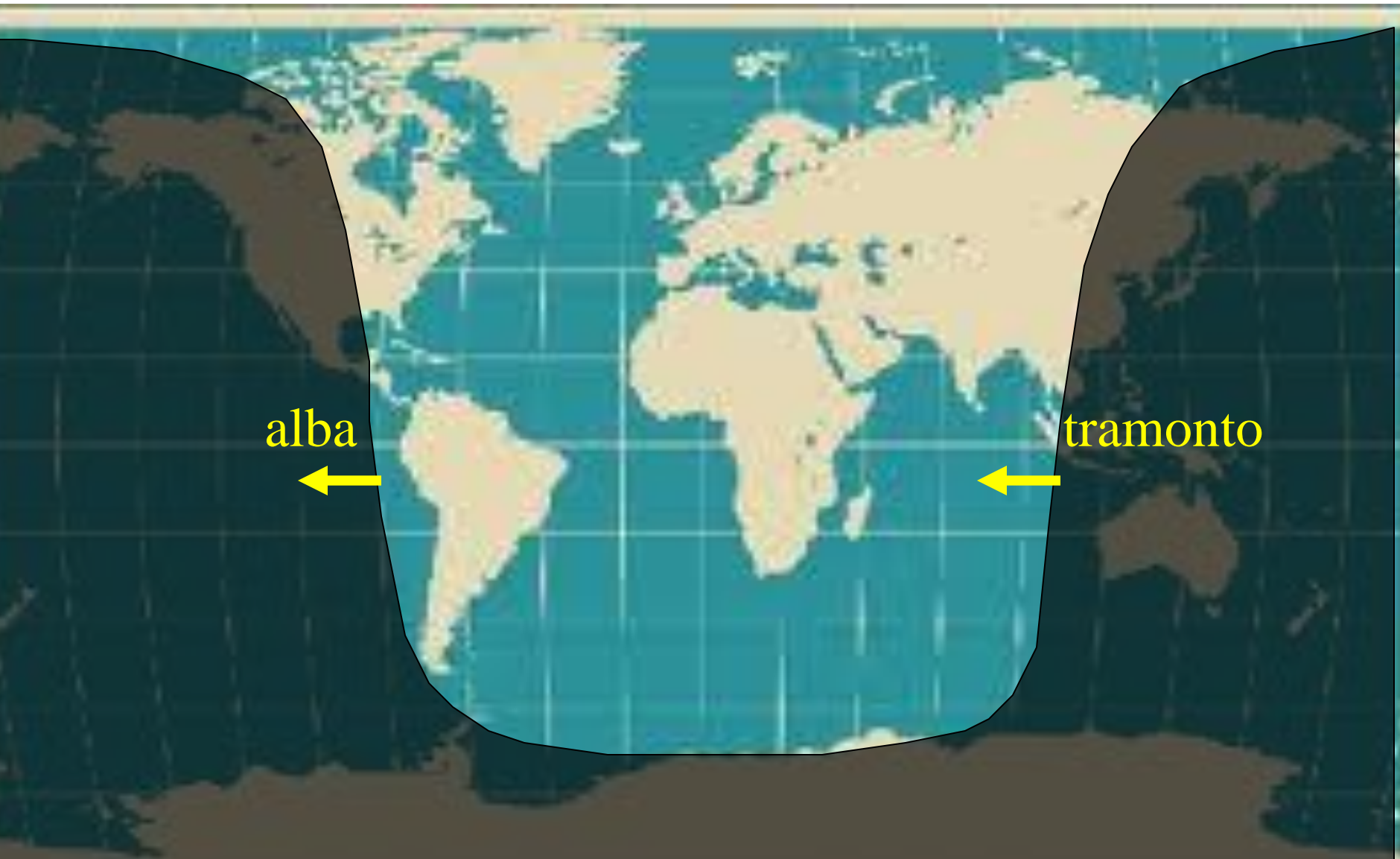
Eclisse di Sole



Eclisse anulare di Sole

Visibilità del transito del 6 giugno 2012?

Mappa del mondo con zone di buio e di luce



Da dove sarà visibile il transito del 6 giugno 2012?

mappa buio-luce all'inizio del transito



Da dove sarà visibile il transito del 6 giugno 2012?

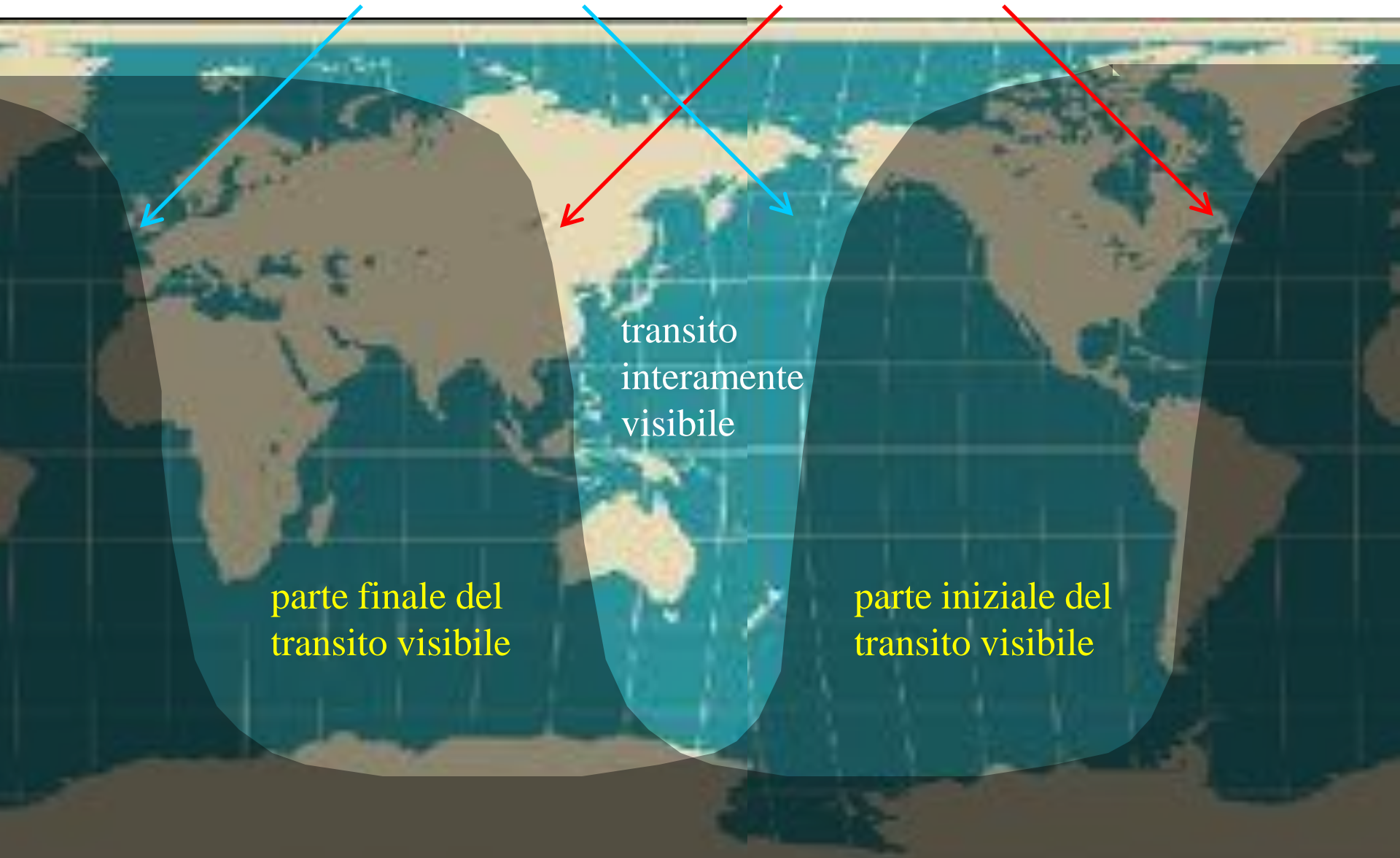
mappa buio-luce alla fine del transito



Da dove sarà visibile il transito del 6 giugno 2012?

mappa buio-luce alla
fine del transito

mappa buio-luce all'inizio
del transito



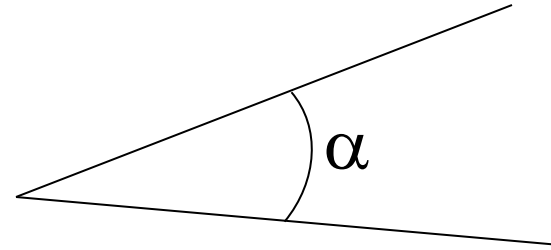
transito
interamente
visibile

parte finale del
transito visibile

parte iniziale del
transito visibile

Un po' di goniometria ...

La misura *in gradi* di un angolo



$$1^\circ = 60'$$

L'apice (') è il simbolo dell'arcominuto (abbrev.: arcmin)

$$1' = 60''$$

Il doppio apice (") è il simbolo dell'arcosecondo (abbrev.: arcsec)

$$1^\circ = 60 \times 60'' = 3600''$$

$$\text{Viceversa: } 1' = (1/60)^\circ \text{ e } 1'' = (1/3600)^\circ$$

Esercizio 1. Trasformare un angolo di $34,563^\circ$ nella forma $\dots^\circ \dots' \dots''$

$$\begin{aligned} 34,563^\circ &= 34^\circ + 0,563^\circ = 34^\circ + 0,563 \times 60' = 34^\circ + 33,78' = 34^\circ + 33' + 0,78' = \\ &= 34^\circ + 33' + 0,78 \times 60'' = 34^\circ 33' 46,8'' \end{aligned}$$

Esercizio 2. Trasformare $18^\circ 54' 29''$ nella forma decimale

$$18^\circ 54' 29'' = 18^\circ + (54/60)^\circ + (29/3600)^\circ = 18^\circ + 0,9^\circ + 0,00805^\circ = 18,90805^\circ$$

Un po' di goniometria ...

La misura *in radianti* di un angolo

$$\alpha^{\text{rad}} = \text{arco AB} / \text{raggio}$$

L'angolo giro (360°) ha il valore in radianti di:

$$\alpha^{\text{rad}} = \text{circonferenza}/\text{raggio} = 2\pi r / r = 2\pi$$

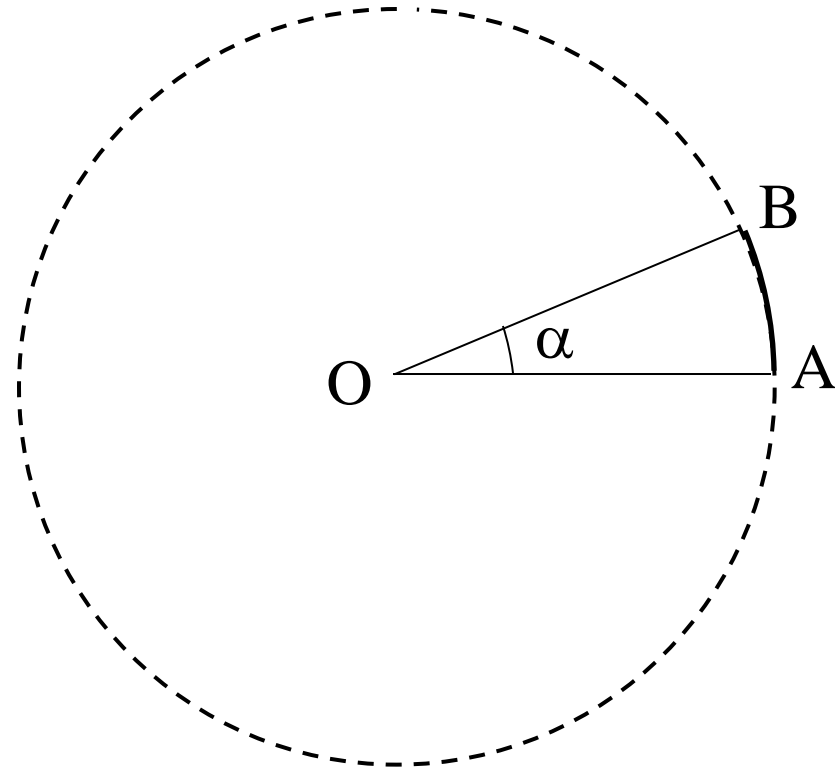
180° corrispondono quindi a π radianti

Gradi e radianti sono proporzionali, possiamo quindi eseguire le conversioni usando la proporzione:

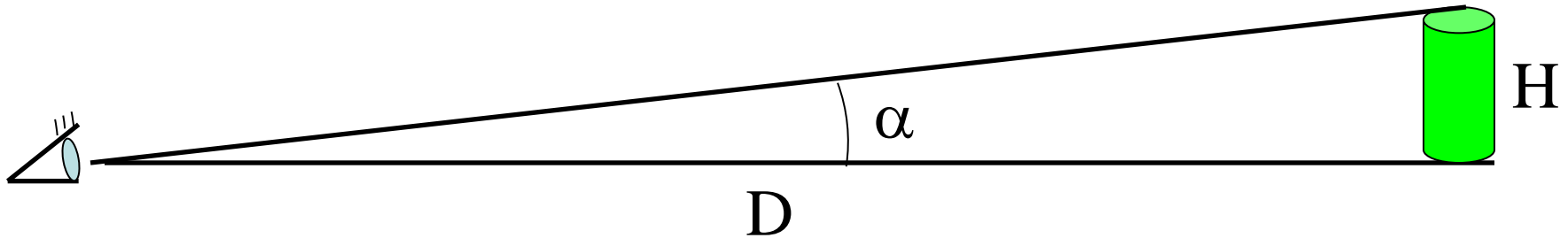
$$\alpha^{\text{rad}} : \alpha^\circ = \pi^{\text{rad}} : 180^\circ$$

Esempio: convertire $47,352^\circ$ in radianti

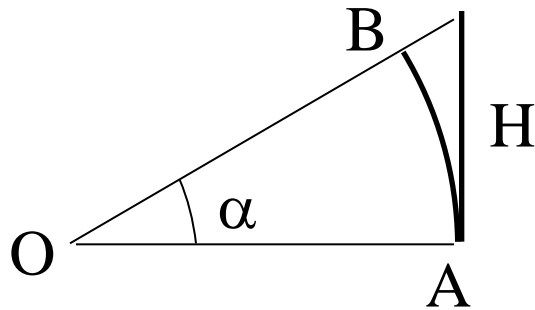
Usando la proporzione: $\alpha^{\text{rad}} = 47,352 \times \pi / 180 = 0,826 \text{ rad}$



Un po' di goniometria ...



L'angolo α sotteso dall'oggetto è chiamato *dimensioni angolari*

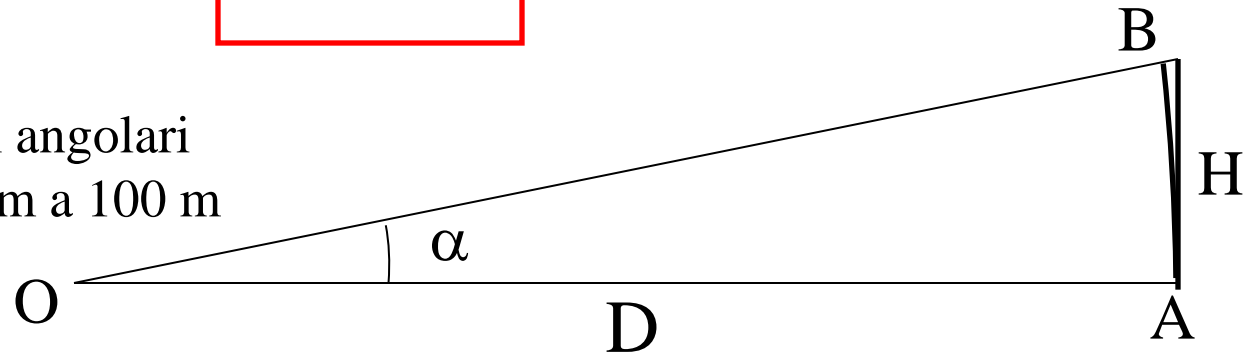


In genere, $AB \neq H$

Ma se α è abbastanza piccolo, $AB \approx H$

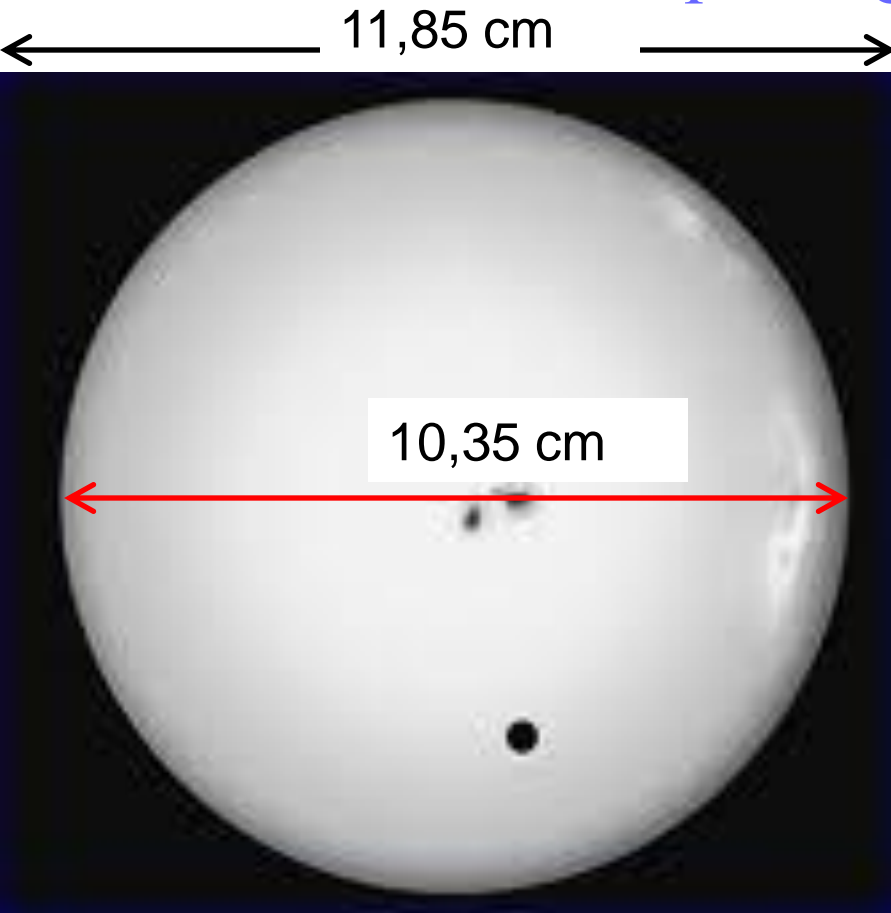
→ $H \approx \alpha D$ con α misurato in radianti

Esempio 1. Dimensioni angolari di una persona alta 1,8 m a 100 m di distanza



$$\begin{aligned}\alpha^{\text{rad}} &= 1,8\text{m}/100\text{m} = 0,018 \text{ rad} = \\ &= (0,018 \times 180/\pi)^{\circ} = 1,03^{\circ}\end{aligned}$$

Un po' di goniometria ...



Esempio 2. L'immagine del Sole a sinistra copre un campo di vista di circa $36,7 \text{ arcmin} \times 34,5 \text{ arcmin}$. Quali sono le *dimensioni angolari* del Sole?

Soluzione. Dimensioni angolari = $36,7 \text{ arcmin} \times 10,35 \text{ cm} / 11,86 \text{ cm} = 32 \text{ arcmin}$

Esempio 3. A che distanza D dal nostro occhio dobbiamo mettere una moneta da 1 euro per coprire esattamente il Sole?

Soluzione. La moneta coprirà esattamente il Sole se avrà le sue stesse dimensioni angolari di 32 arcmin. Il diametro H di una moneta da 1 euro è circa 2,3 cm.

$$32 \text{ arcmin} = (32/60)^\circ = 0,533^\circ = 0,533^\circ \times \pi/180^\circ = 0,0093 \text{ rad}$$

$$\text{Poichè } 0,0093 \text{ rad} = H / D \rightarrow D = H / 0,0093 = 2,3 \text{ cm} / 0,0093 = 247 \text{ cm}$$

Un po' di goniometria ...

Esempio 4. La Luna ha un diametro di 3474 km e si trova a una distanza minima dalla Terra di 363000 km e a una distanza massima di 405700 km. Quali sono le sue dimensioni angolari (minima e massima)? Confrontare queste dimensioni con quelle del Sole?

Soluzione. Dimensione angolare min = $3474 \text{ km} / 405700 \text{ km} = 0,00856 \text{ rad} = 0,49^\circ = 29,4 \text{ arcmin}$

Dimensione angolare max = $29,4 \text{ arcmin} \times 405700 \text{ km} / 363000 \text{ km} = 32,9 \text{ arcmin}$



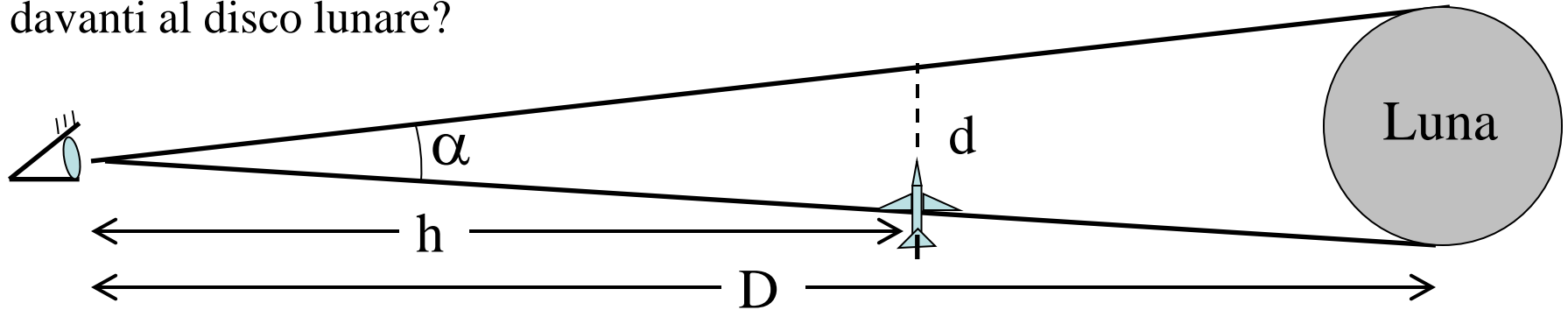
Esempio 5. La Luna ha dimensioni angolari di circa 32 arcmin. A che altezza si trovava l'aereo mentre transitava davanti al disco lunare?

Soluzione. Confrontando le dimensioni dell'aereo e della Luna nella figura si ricavano le dimensioni angolari di 6 arcmin = $(6/60)^\circ \times \pi/180^\circ = 0,00175 \text{ rad}$. Supponendo un Boeing 737 da 30 m, si ha:

$0,00175 = 30 \text{ m} / \text{altezza} \rightarrow \text{altezza} = 30\text{m}/0,00175 = 17000 \text{ m (circa)}$.

Un po' di goniometria ...

Esempio 6. Quanto tempo impiega l'aereo dell'esempio precedente a transitare davanti al disco lunare?



Soluzione. Si deve calcolare il tempo Δt che l'aereo impiega a percorrere la distanza $d = h \times \alpha^{\text{rad}} = 17000 \text{ m} \times (32/60)^\circ \times \pi/180^\circ = 160 \text{ m}$.

Supponendo una velocità di crociera di $800 \text{ km/h} = 800/3,6 \text{ m/s} = 220 \text{ m/s}$, si ha:

$$\Delta t = d / v = 160/220 \text{ s} = 0,7 \text{ s}$$

Soluzione alternativa. Se l'aereo percorre 220 m in 1 secondo, ad una altezza di 17000 m questi 220 m corrispondono a un angolo di $220/17000 \text{ rad} = 0,013 \text{ rad} = 0,74^\circ = 0,74 \times 60 \text{ arcmin} = 44,5 \text{ arcmin}$, pertanto la velocità angolare è $v_{\text{ang}} = 44,5 \text{ arcmin/s}$. Il tempo Δt che l'aereo impiega a percorrere l'angolo di 32 arcmin è quindi:

$$\Delta t = 32 \text{ arcmin} / v_{\text{ang}} = (32/44,5) \text{ s} = 0,7 \text{ s}$$

Un po' di goniometria ...

Esercizi per casa...se volete

Es.1 Il telescopio spaziale ha una risoluzione angolare di $0,046''$; trovandosi a 386 000 km dalla Luna, quanto sono grandi i più piccoli crateri lunare che Hubble può vedere distintamente? (**Risp: 85 m**)

Es.2 Calcolate le dimensioni angolari dei pianeti Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno quando si trovano alla minima distanza dalla Terra. Se la risoluzione angolare dell'occhio umano è circa $80''$, è possibile distinguere ad occhio nudo il disco di qualcuno di questi pianeti?

Pianeta	Diametro (km)	Distanza (milioni di km)
Mercurio	4800	100
Venere	12000	40
Marte	7200	75
Giove	144000	630
Saturno	120000	1275

Un po' di goniometria ...

Esercizi per casa...se volete



La Stazione Spaziale Internazionale si trovava a 350 km di altezza al momento del transito sul Sole ripreso in questa foto. Se la sua velocità orbitale è di circa 10 km/s, quanto tempo è durato il transito? (dimensioni angolari del Sole circa 32")

Se la Stazione è larga 108 m e il Sole è a 150 000 000 km dalla Terra, quanto è grande la macchia solare visibile in alto al centro della foto?

Un po' di goniometria ...

La parallasse

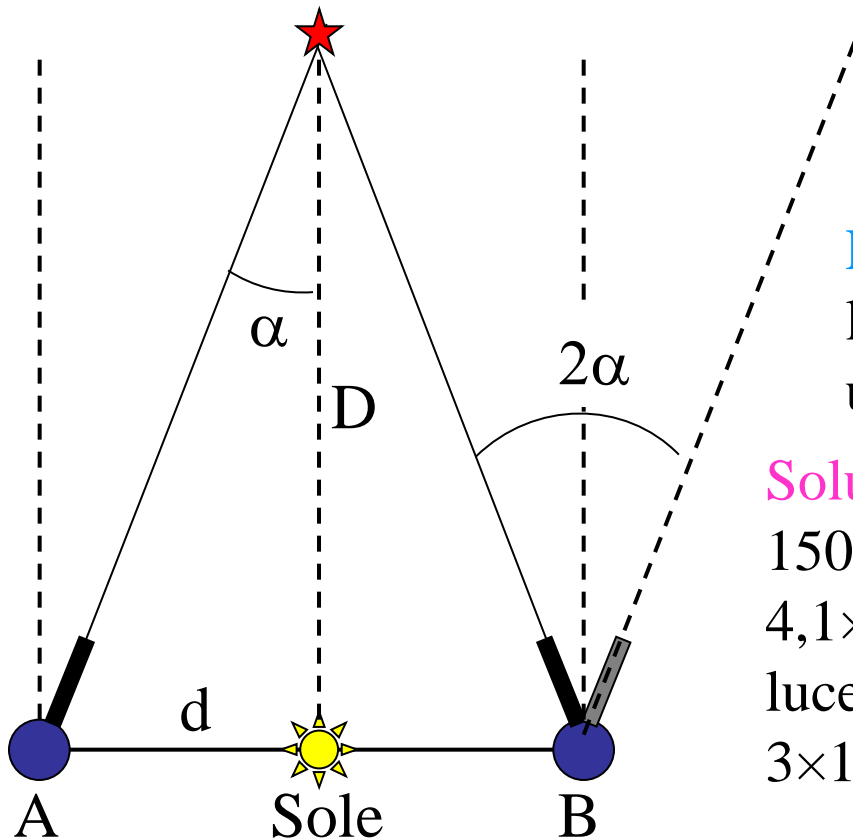
E' lo spostamento angolare α di un oggetto a causa dello spostamento, da parte dell'osservatore, di una distanza d

Applicazioni al calcolo delle distanze delle stelle

Per α piccoli,

$$\alpha^{\text{rad}} = d / D$$

$$\rightarrow D = d / \alpha^{\text{rad}}$$



Esempio 1. A che distanza si trova da noi la stella più vicina, alpha Centauri, che ha una parallasse di 0,76 arcsec?

Soluzione. $0,76'' = 3,7 \times 10^{-6}$ rad. Dividendo $150\,000\,000$ km / $(3,7 \times 10^{-6})$ si ottiene $D = 4,1 \times 10^{13}$ km. Alla velocità di 3×10^5 km/s la sua luce, per arrivare da noi, impiega $(4,1 \times 10^{13} / 3 \times 10^5) = 1,36 \times 10^8$ secondi = 4,3 anni.

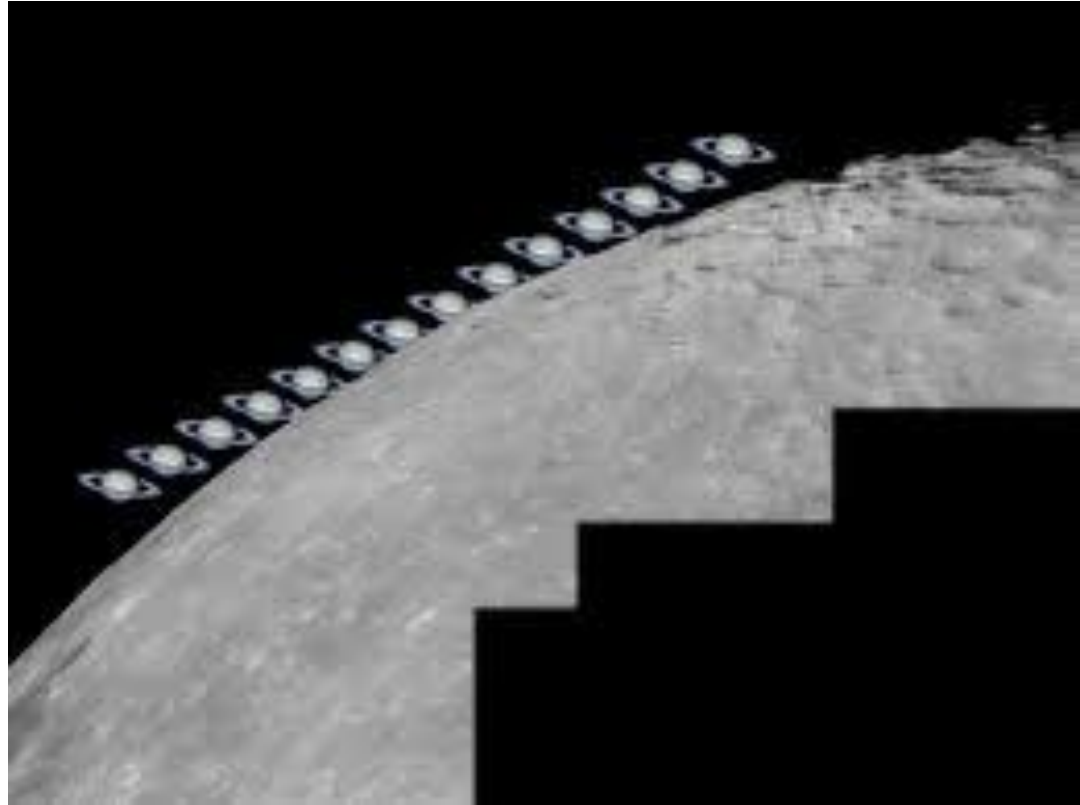
Un po' di goniometria ...

La parallasse

Esempio 2. Occultazione radente di Saturno da parte della Luna.

Per quale spostamento L (in km) dal luogo in cui è stata scattata questa foto l'occultazione sarebbe stata totale nella parte centrale della sequenza di immagini?

(Il diametro angolare di Saturno è 25 arcsec e la distanza Terra-Luna è $D = 386\,000$ km)



Soluzione. Per uno spostamento L , trascurando lo spostamento di Saturno (perché molto più lontano della Luna), la Luna si sposta di un angolo pari a L/D . Ponendo $25 \text{ arcsec} = 1,2 \times 10^{-4} \text{ rad} = L/D$, si ottiene:

$$L = 1,2 \times 10^{-4} \times 386\,000 \text{ km} = 47 \text{ km}$$

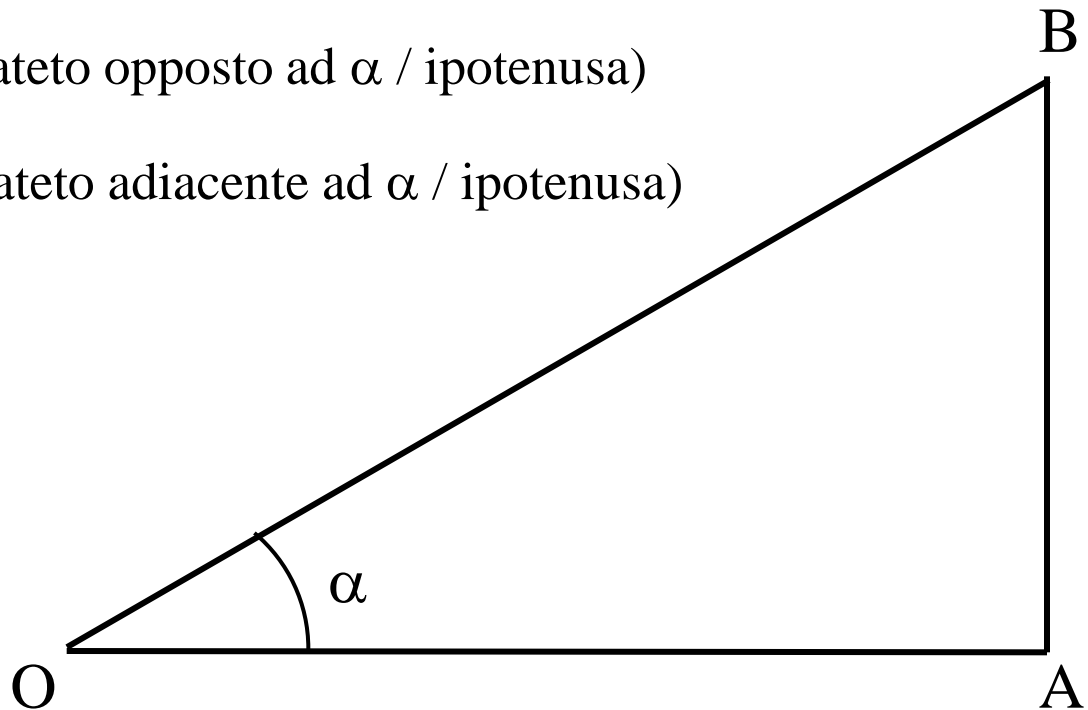
Un po' di goniometria ...

Le funzioni seno e coseno

Se l'angolo α non è piccolo, l'approssimazione usata in precedenza non è valida. Si devono usare le funzioni seno e coseno, definite da:

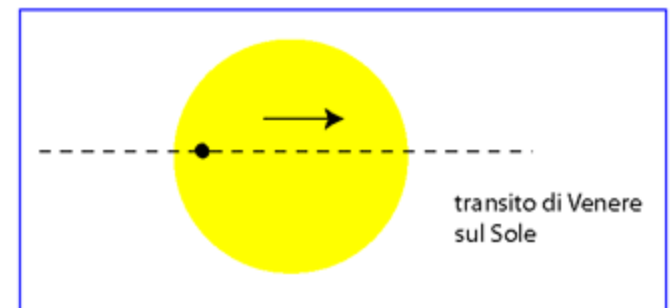
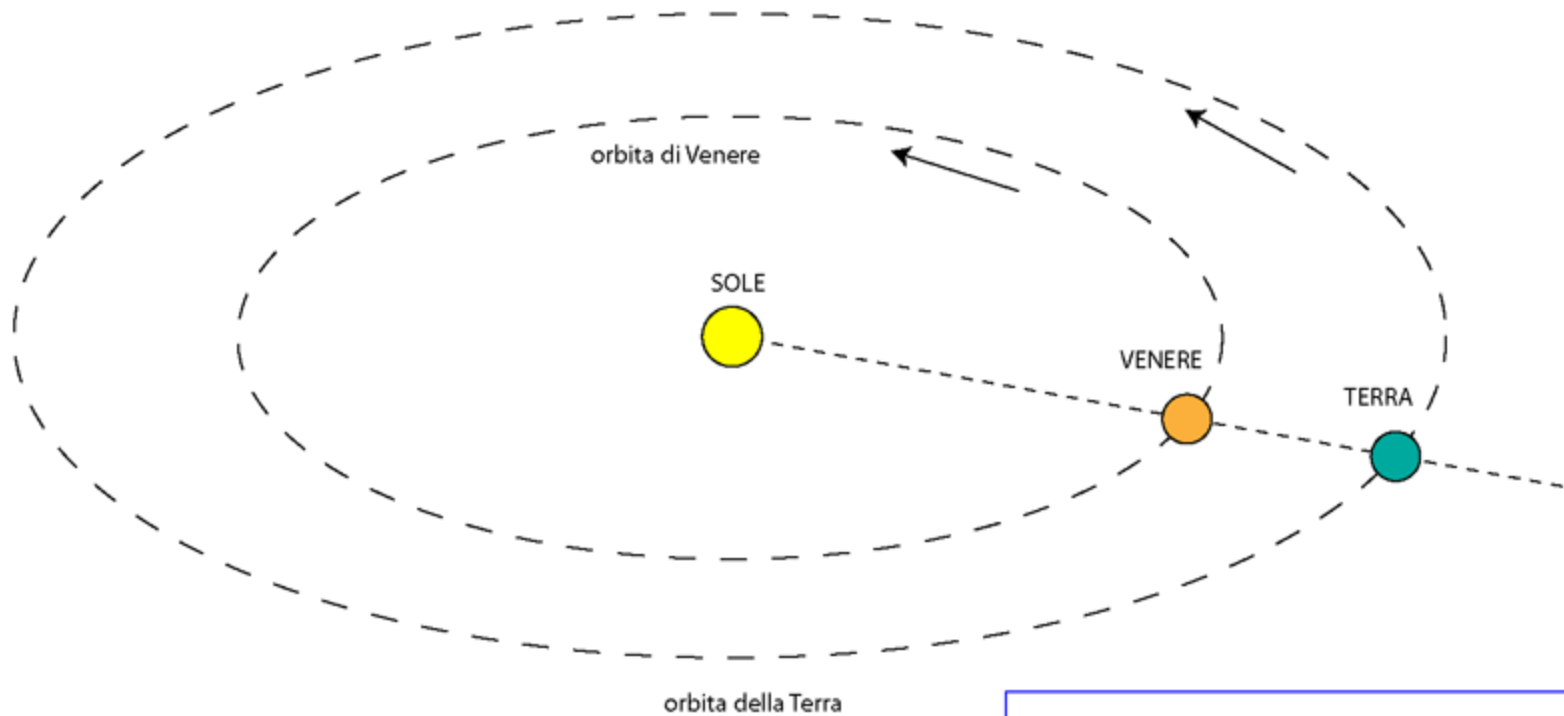
$$\text{sen } \alpha = \frac{AB}{OB} \quad (\text{cateto opposto ad } \alpha / \text{ipotenusa})$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{OA}{OB} \quad (\text{cateto adiacente ad } \alpha / \text{ipotenusa})$$

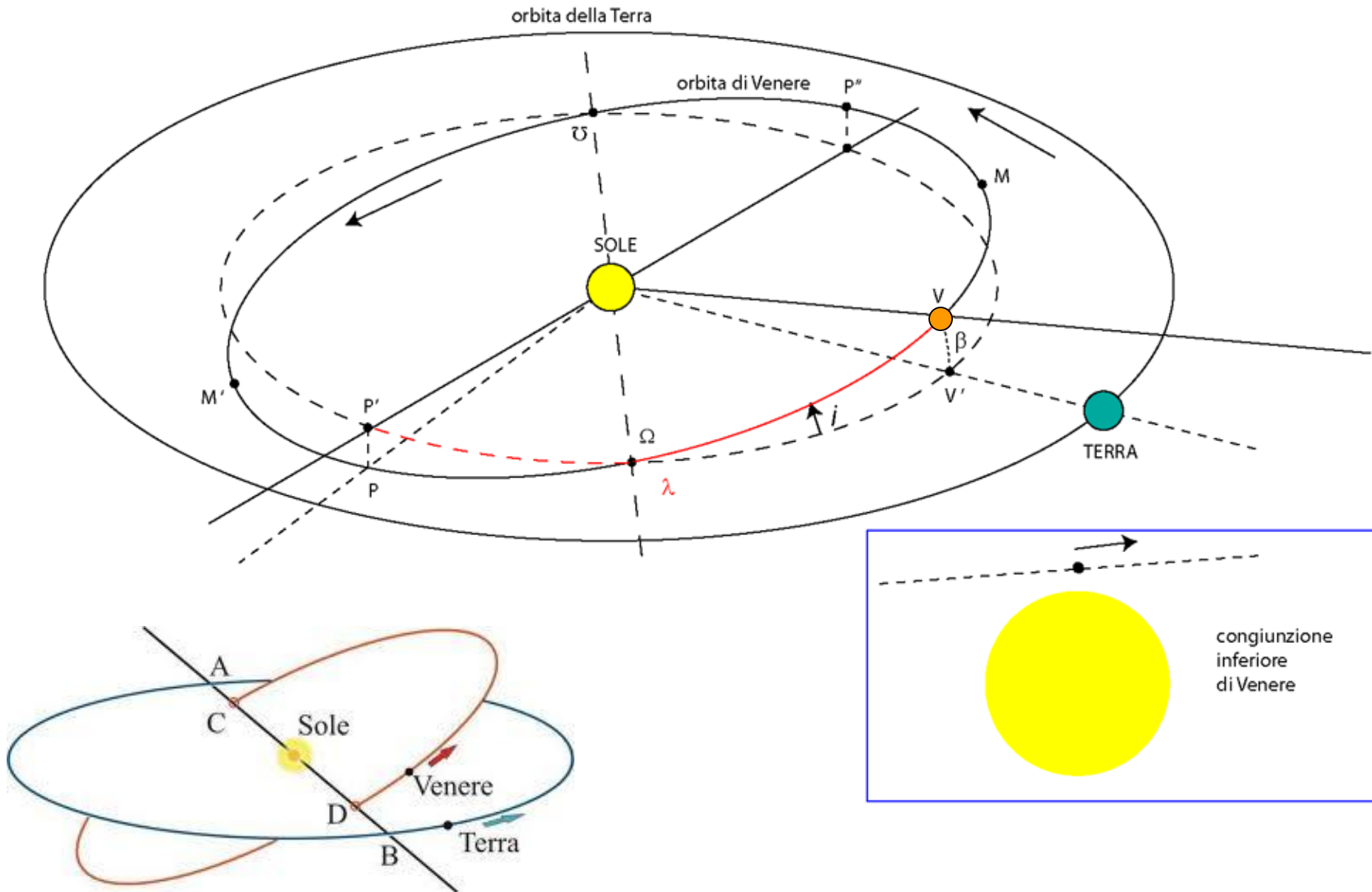


Frequenza del transito di Venere

1. Per assistere ad un transito, occorre che Venere sia in *congiunzione inferiore* con la Terra



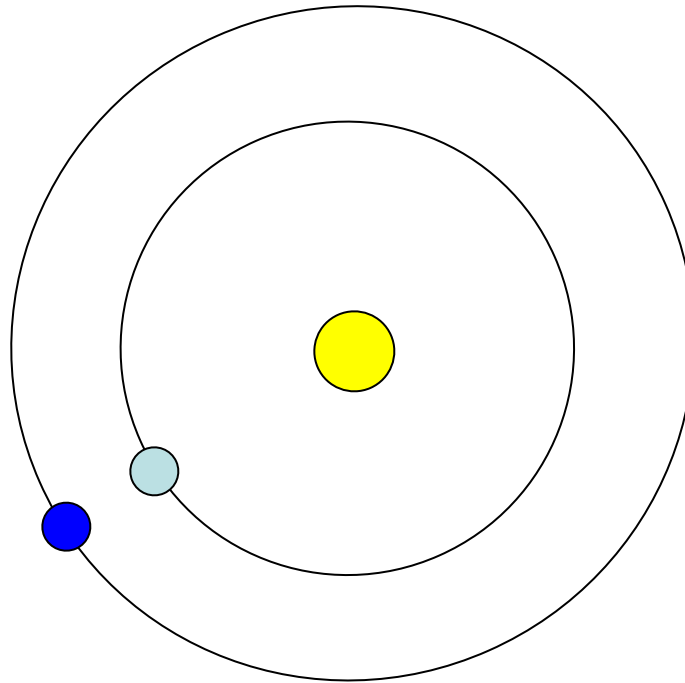
Frequenza del transito di Venere



Frequenza del transito di Venere

Ogni quanto tempo si verifica una congiunzione?

Il periodo di tempo fra due congiunzioni consecutive è detto *periodo sinodico*



I due pianeti hanno periodi di rivoluzione T_{ext} e T_{int} e quindi velocità angolari $\omega_{\text{ext}}=2\pi/T_{\text{ext}}$ e $\omega_{\text{int}}=2\pi/T_{\text{int}}$

Frequenza del transito di Venere

Ogni quanto tempo si verifica una congiunzione?

Il moto del pianeta interno visto da un osservatore che si trova sul pianeta esterno avviene con velocità angolare ω' data da:

$$\omega' = \omega_{\text{int}} - \omega_{\text{ext}}$$

Poiché $\omega' = 2\pi/T_{\text{syn}}$, otteniamo:

$$\frac{2\pi}{T_{\text{syn}}} = \frac{2\pi}{T_{\text{int}}} - \frac{2\pi}{T_{\text{ext}}}$$

$$T_{\text{syn}} = \frac{T_{\text{int}} \times T_{\text{ext}}}{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}$$

Frequenza del transito di Venere

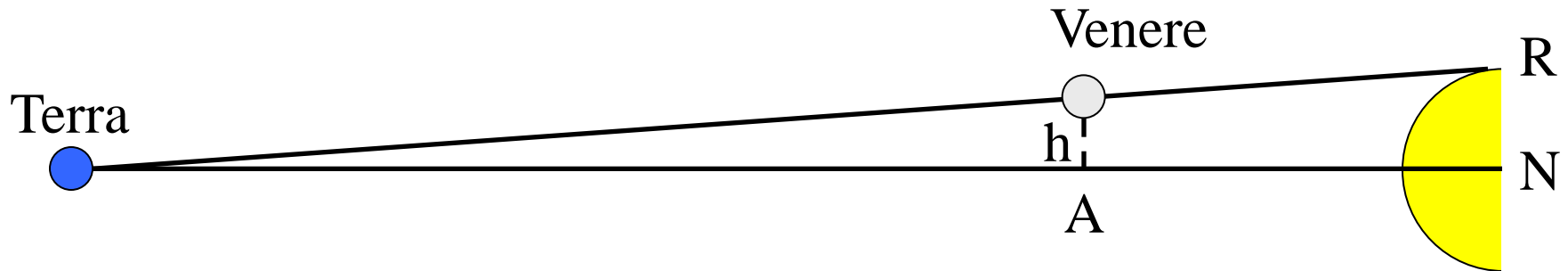
Ogni quanto tempo si verifica una congiunzione Venere-Terra?

Il periodo della Terra (T_{ext}) è 365,26 giorni, il periodo di Venere (T_{int}) è 224,70 giorni, dunque:

$$T_{\text{syn}} = 365,26 \times 224,70 / (365,26 - 224,70) \text{ giorni} = 583,91 \text{ giorni} = 1,6 \text{ anni}$$

Esercizio. Calcolare il periodo sinodico di Mercurio sapendo che il suo periodo di rivoluzione è 87,97 giorni.

Frequenza del transito di Venere



2. Per assistere ad un transito, occorre che, in congiunzione, l'altezza di Venere sul piano dell'eclittica non sia superiore ad h

L'angolo VTA è uguale all'angolo RTA = $(32/2)' = 16'$, per cui:

$$h = TV \times (16/60) \times (\pi/180) = 41,4 \times 10^6 \text{ km} \times 0,004654$$

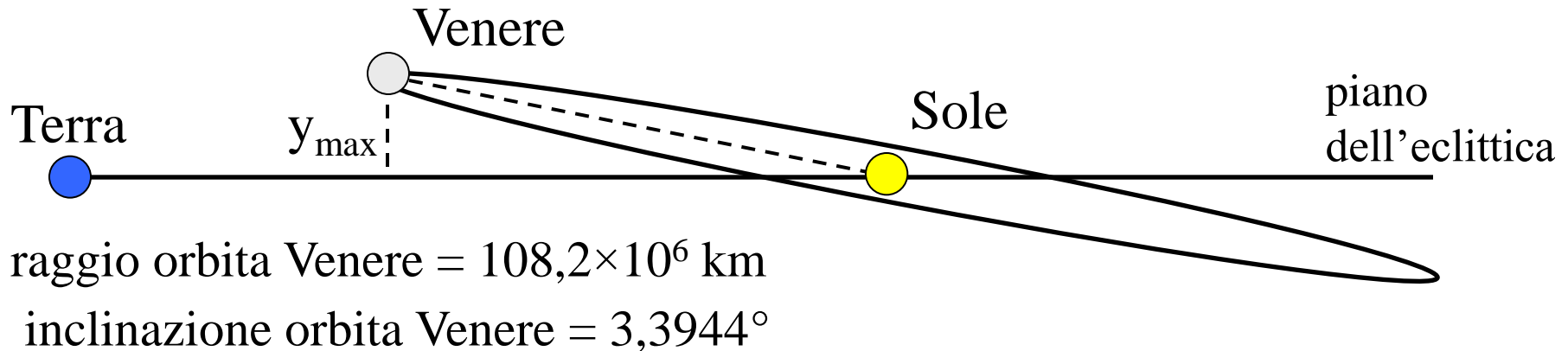
$$h \approx 193\,000 \text{ km}$$

Frequenza del transito di Venere

Ogni quanto tempo si verificano entrambe le condizioni (Venere in congiunzione e altezza sull'eclittica $\leq h$)?

Abbiamo bisogno di sapere come varia nel tempo l'altezza y di Venere sul piano dell'eclittica

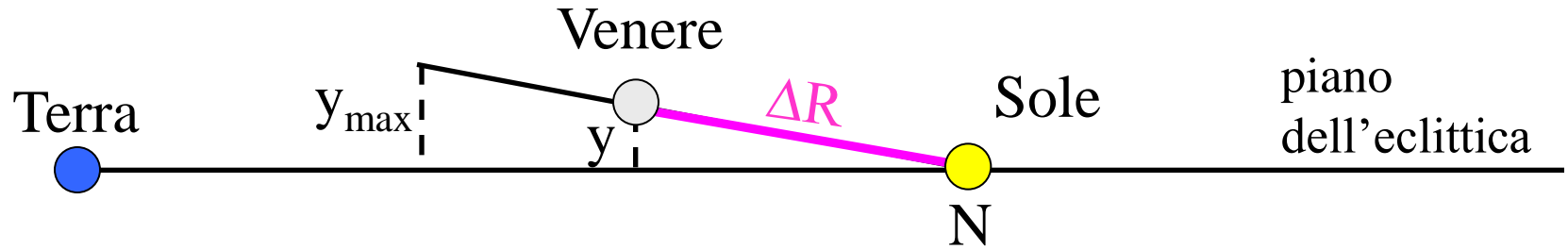
Iniziamo col calcolare la massima altezza y_{\max}



$$y_{\max} = \text{raggio orbita Venere} \times \text{sen}(3,3944^\circ) = 6,41 \times 10^6 \text{ km}$$

Frequenza del transito di Venere

Come varia nel



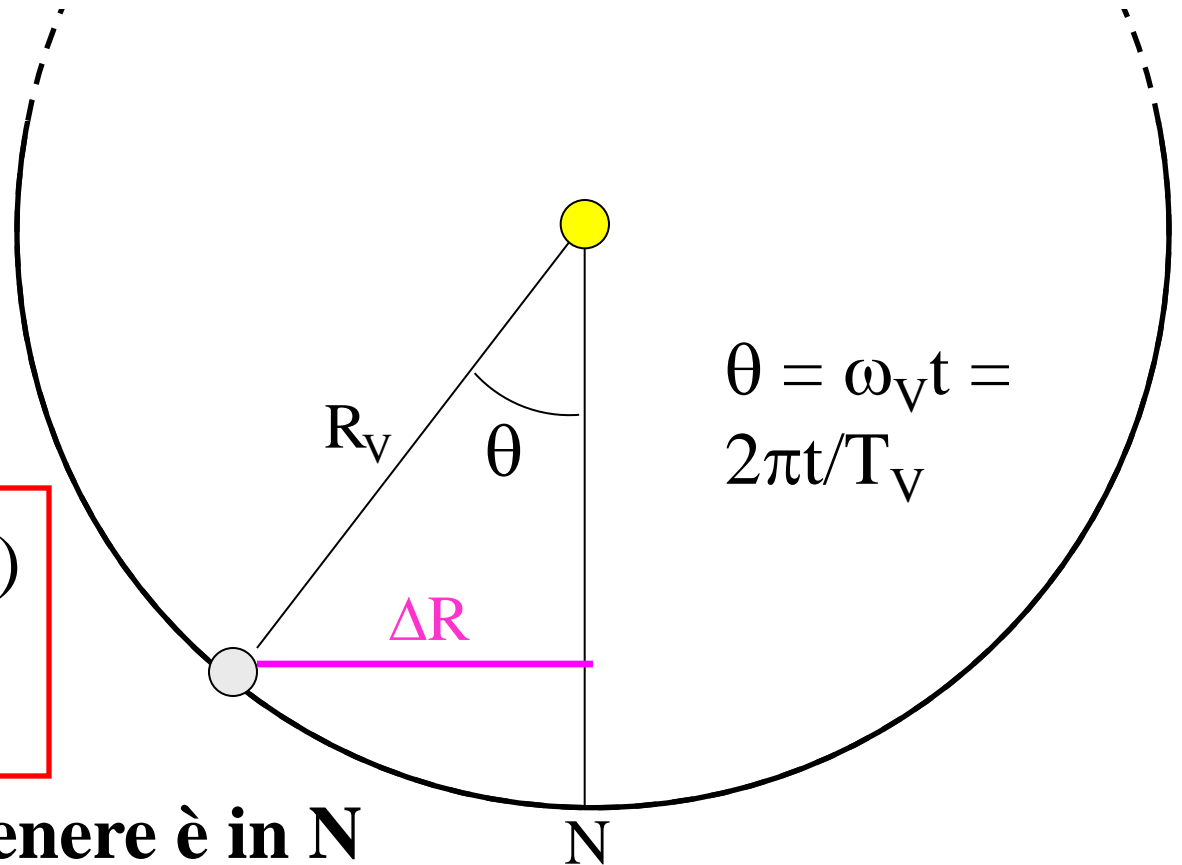
$$y : y_{\max} = \Delta R : R_V$$

$$\rightarrow y = y_{\max} \times \Delta R / R_V$$

$$\Delta R = R_V \text{ sen}(\theta)$$

$$y = y_{\max} \text{ sen}(2\pi t / T_V)$$

(t e T_V con stesse u.m)



$$\theta = \omega_V t = 2\pi t / T_V$$

N.B. t=0 quando Venere è in N

Frequenza del transito di Venere

L'ultima congiunzione con passaggio (approssimativamente) nel nodo N è stata l'8 giugno 2004 (anno 2004,44)

< 193000 km
per il transito



N° cong.	giorni dall'8/6/2004	anno	altezza y (km)	
0	0	2004,44	0	TRANSITO
1	583,9	2006,04	372000	
2	1167,8	2007,63	606000	
...	
5	2919,6	2012,43	277000	???
...	
71	41457,9	2117,94	92800	TRANSITO
...	
76	44377,4	2125,93	184000	TRANSITO
...	