

La scuola adotta un esperimento
per
Esperienza InSegna 2012

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

Luigi Scelsi & Antonio Maggio

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

PRIMA
LEZIONE

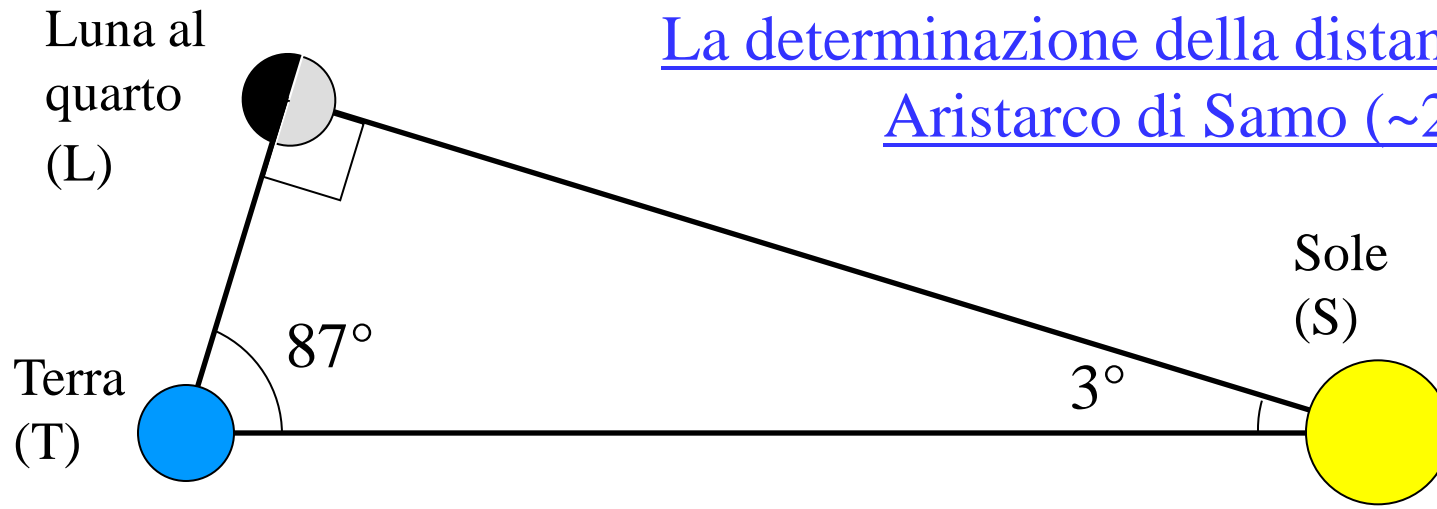
1. Frequenza dei transiti di Venere

2. La determinazione della distanza Terra-Sole: da Aristarco di Samo (~250 a.C.) ai transiti di Venere del '700 e '800

SECONDA
LEZIONE

3. Transiti planetari e scoperta di pianeti extrasolari

La determinazione della distanza Terra-Sole:
Aristarco di Samo (~250 a.C.)

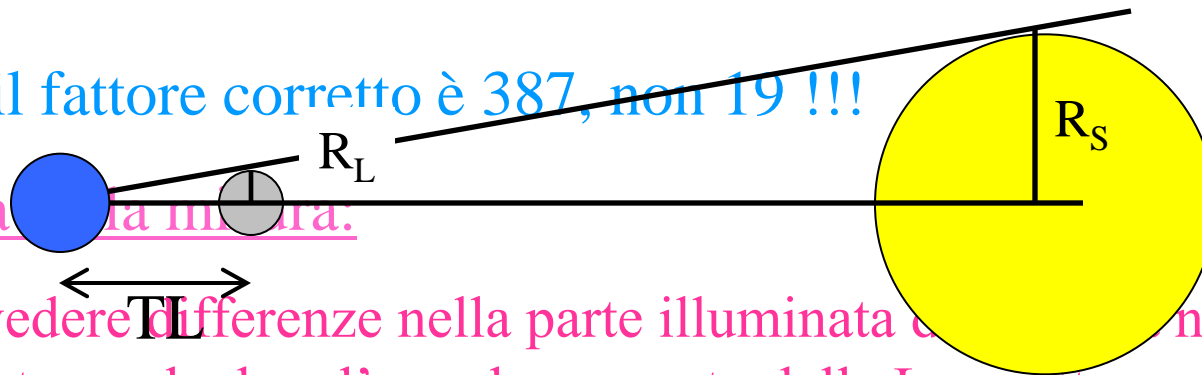


$$\text{sen } 3^\circ = TL / TS \quad \longrightarrow \quad TS = TL / 0,0532 \approx 19 TL$$

Le dimensioni angolari della Luna e del Sole sono
 circa uguali (32') $\longrightarrow R_S = 19 R_L$

In realtà il fattore corretto è 387, non 19 !!!

Difficoltà da misura.

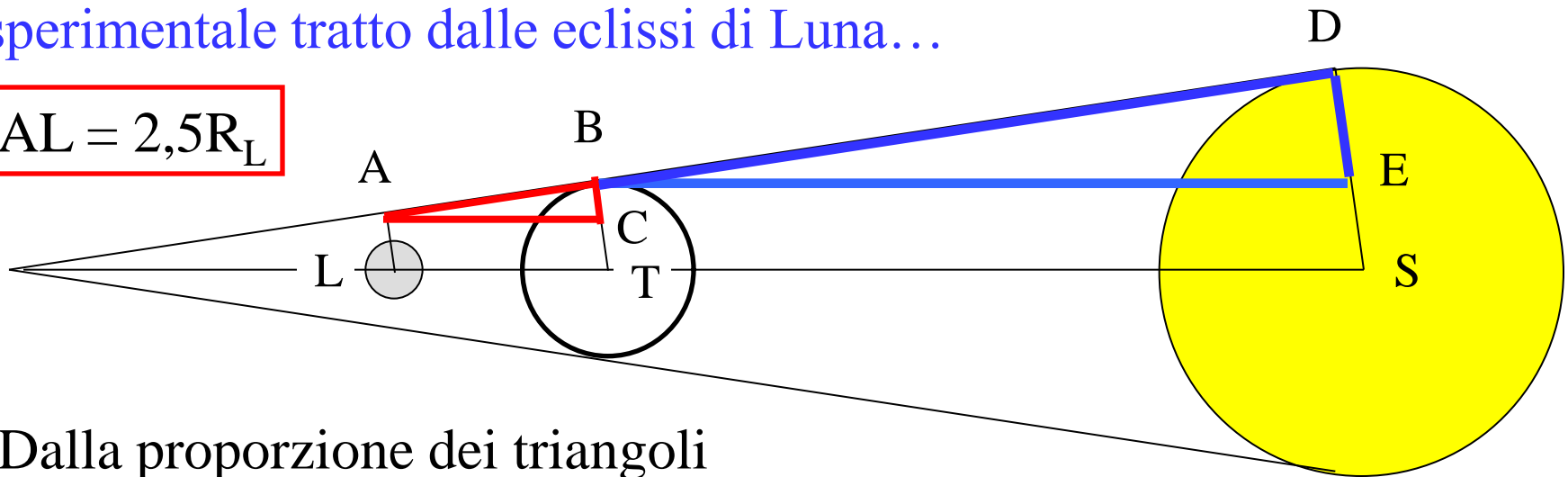


Sapreste vedere differenze nella parte illuminata e nell'arco di 6 ore? Provate a calcolare l'angolo spazzato dalla Luna attorno alla Terra in 6 ore (la Luna compie una rotazione attorno alla Terra in 1 mese circa).

$$TS = 19 TL$$

Aristarco prosegue il ragionamento considerando un dato sperimentale tratto dalle eclissi di Luna...

$$AL = 2,5R_L$$



Dalla proporzione dei triangoli
in rosso e in blu $\rightarrow DE : BC = BE : AC$

$$\frac{R_S - R_T}{R_T - 2,5R_L} = \frac{TS}{TL} \rightarrow \frac{19 R_L - R_T}{R_T - 2,5R_L} = 19 \quad \text{(Perché } TS = 19 TL \text{ e } R_S = 19 R_L)$$

$$R_L = \frac{19 + 1}{3,5 \times 19} R_T = 0,28 R_T$$

Approssimativamente corretto! Perché dipende poco dal "19"

$$R_S = \frac{19 + 1}{3,5} R_T = 5,7 R_T$$

Errato! Perché dipende molto dal "19"

h è l'altezza del bastone

d è la lunghezza dell'ombra del bastone sul terreno

L è la distanza tra i due bastoni (Alessandria d'Egitto e Siene: 50 000 stadi ≈ 7875 km)

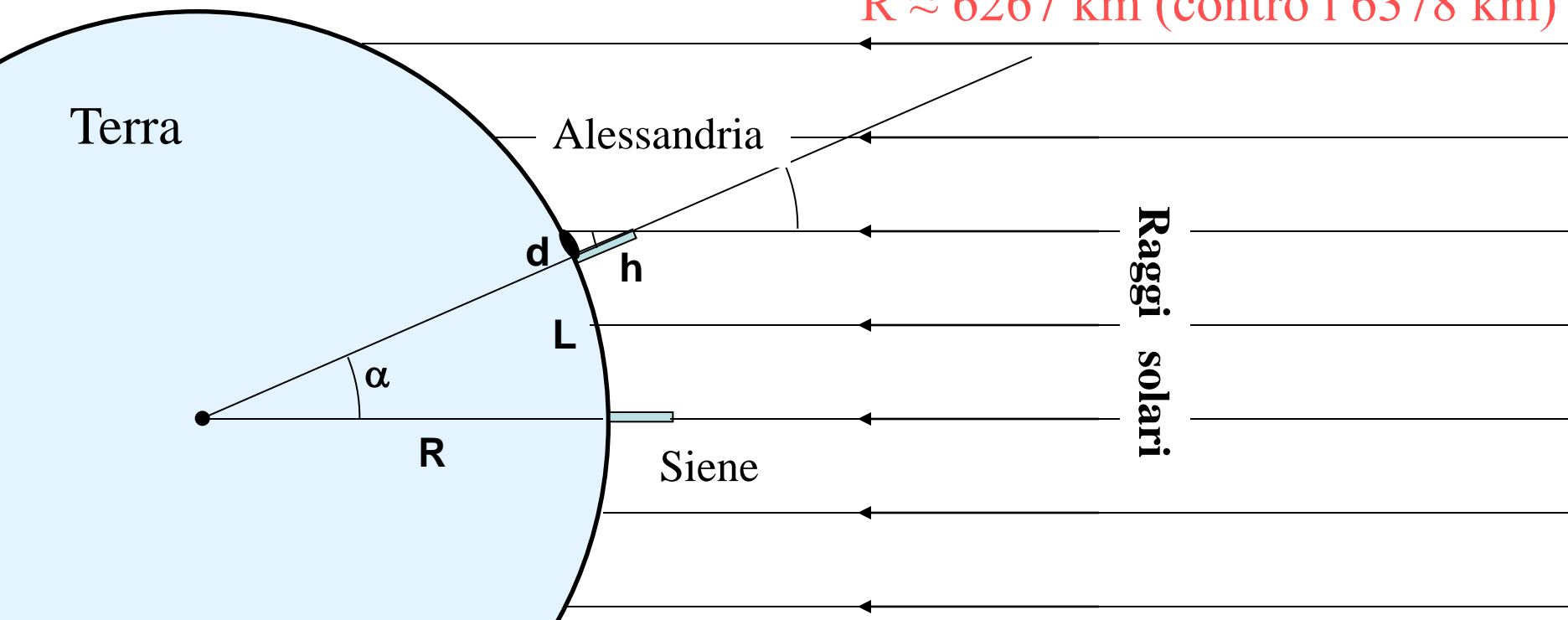
R è il raggio della Terra

I tre angoli segnati sono tutti uguali. L'angolo α in gradi si ottiene da $\alpha = 57,3 \mathbf{d} / \mathbf{h}$

Dalla proporzione $\mathbf{L} : \alpha = 2\pi\mathbf{R} : 360^\circ$ possiamo ottenere **R**.

La misura del raggio terrestre di Eratostene di Cirene (III secolo a.C.)

Con $\alpha \approx 7,2^\circ$ Eratostene ottenne $R \approx 6267$ km (contro i 6378 km)



Con $R_T = 6267$ km (risultato di Eratostene), si ha $R_{Sole} = 35\,700$ km...

... ed essendo il raggio angolare del Sole pari a $16'$

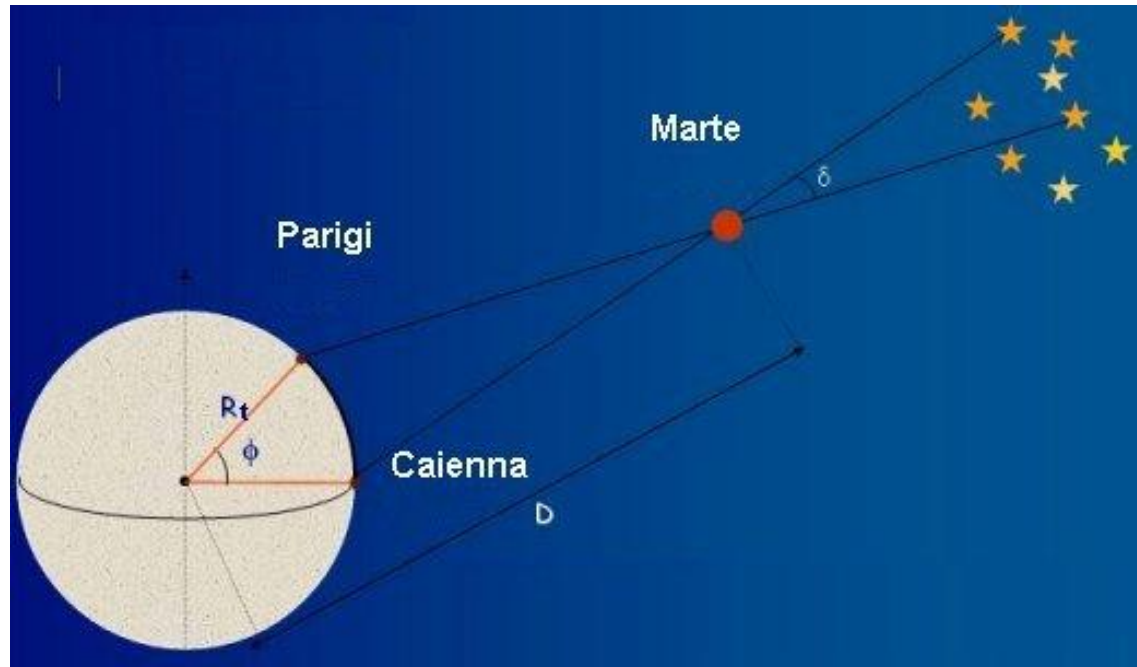
→ Distanza Terra-Sole = $R_{Sole} / 16' = \dots =$

7 700 000 km !

Dai tempi degli antichi greci fino a metà del XVII secolo, non ci furono miglioramenti nella stima dell'Unità Astronomica.

- Nel 1650 (circa) il belga Wendelin calcola $1UA \approx 98\,000\,000$ km usando il metodo di Aristarco

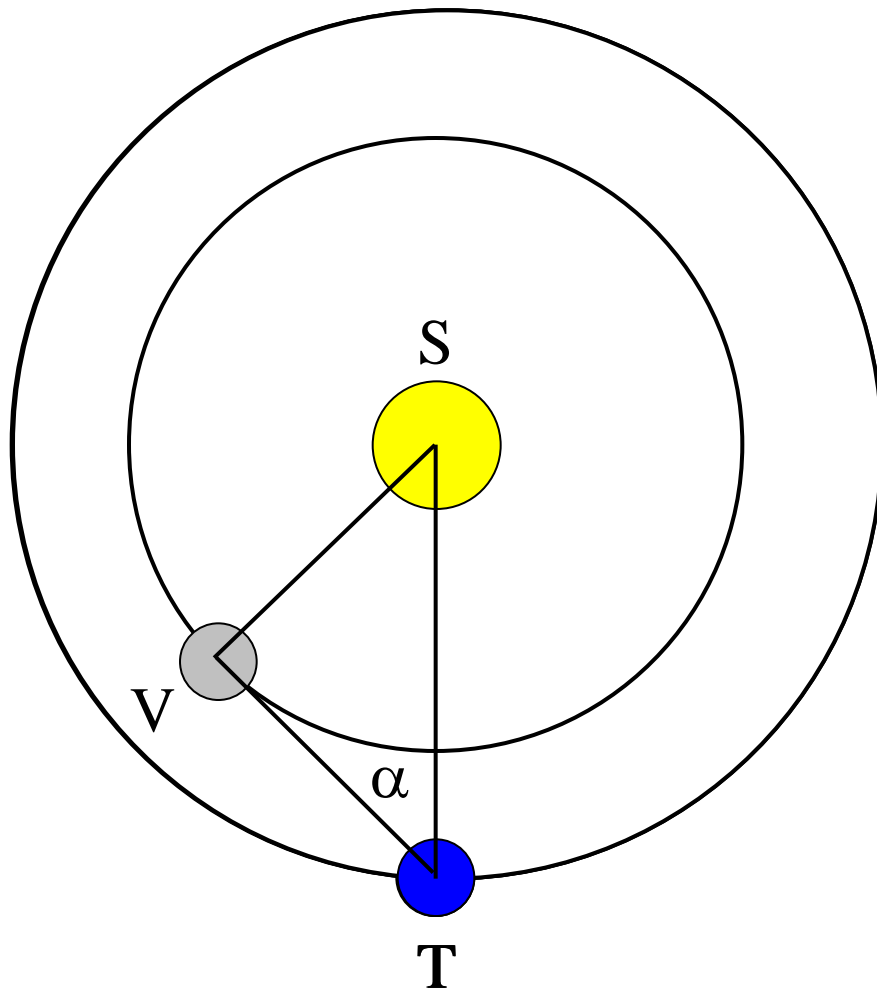
- Cassini e Richer nel 1672 ottennero $1UA = 139\,000\,000$ km usando la parallasse di Marte



Misura della distanza Terra-Sole con il transito di Venere

Premessa 1

La distanza Terra-Sole è detta Unità Astronomica (UA)



La distanza Venere-Sole è pari a 0,72 UA ← Deriva dalla 3^a legge di Keplero, ma anche dalla seguente osservazione:

α è al massimo 46°

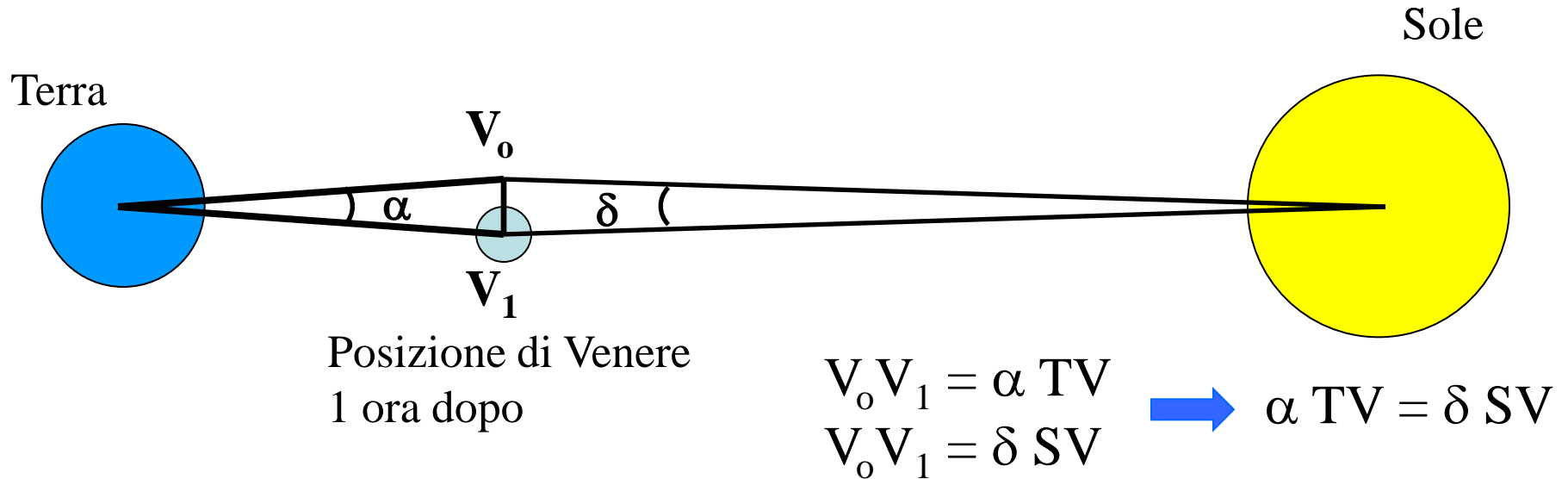
$$SV = \text{sen}46^\circ \times ST \\ = 0,72 \text{ UA}$$

Quindi $TV = 0,28 \text{ UA}$ in congiunzione inferiore

Misura della distanza Terra-Sole con il transito di Venere

Premessa 2

Calcolo della velocità angolare di Venere, vista dalla Terra, durante il transito



Quanto vale δ in 1 ora?

$$360^\circ : T_{\text{syn}} = \delta : 1 \text{ ora}$$

→ $\delta = 360^\circ \times 1 \text{ ora} / 583,9 \text{ giorni} = 0,0257^\circ = 1,54'$

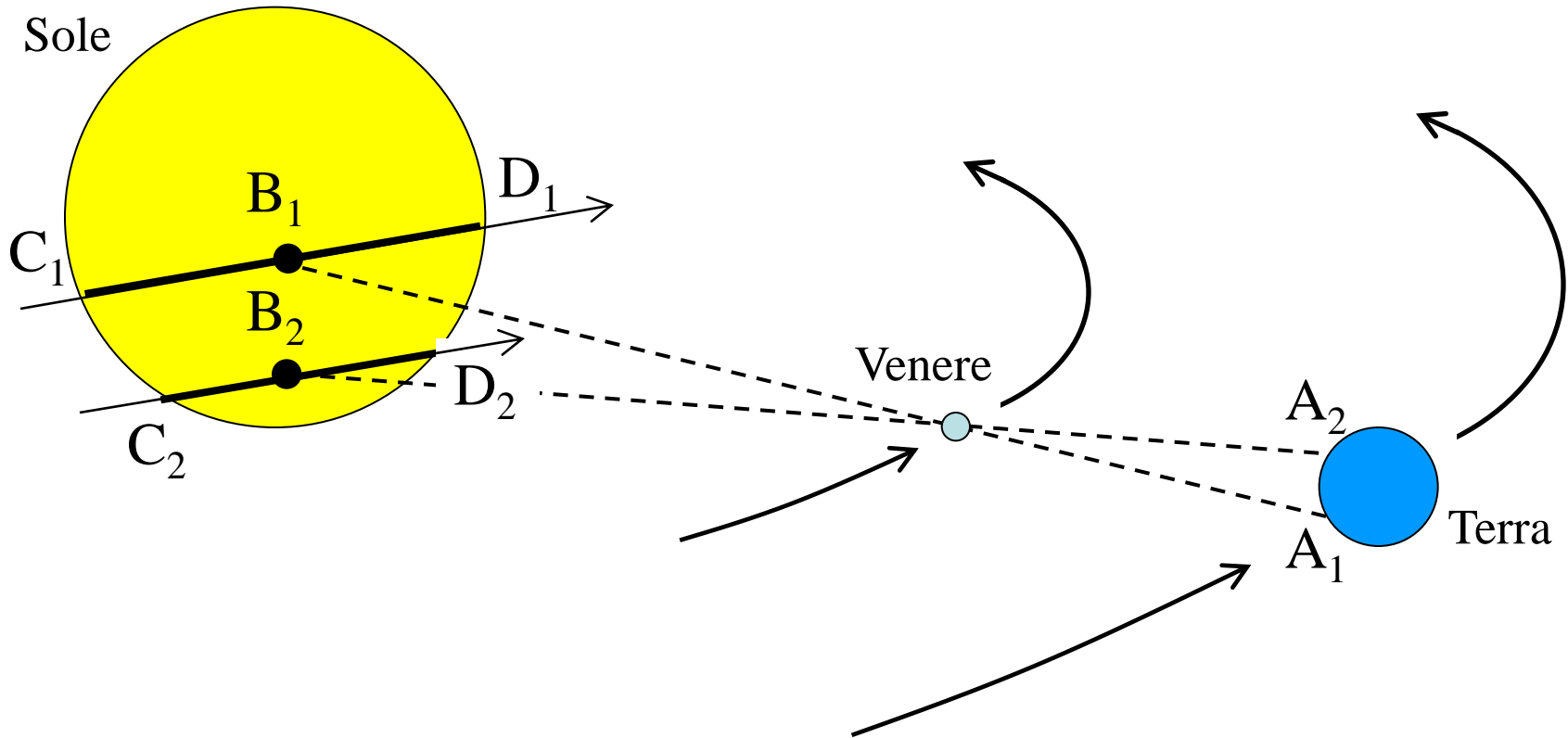
$$\alpha = \delta \times (SV / TV) = \delta \times (0,72 / 0,28)$$

$$\alpha = \delta \times 2,57$$

↓

→ $\alpha = 3,96'$ (in 1 ora)

Misura della distanza Terra-Sole con il transito di Venere



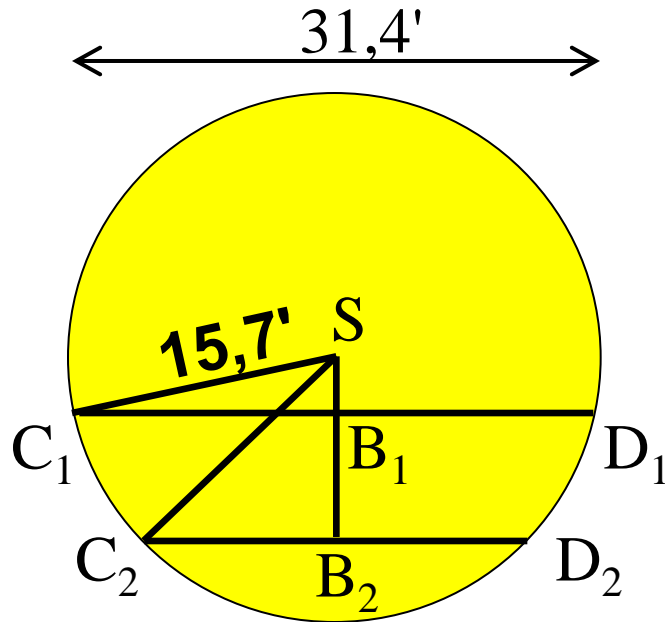
L'osservatore in A₁ vede Venere che descrive la corda C₁D₁ nel tempo ΔT_1

L'osservatore in A₂ vede Venere che descrive la corda C₂D₂ nel tempo ΔT_2

$$B_1B_2 : 0,72UA = A_1A_2 : 0,28UA \longrightarrow$$

$$B_1B_2 = \frac{0,72}{0,28} A_1A_2$$

Misura della distanza Terra-Sole con il transito di Venere



Calcoliamo le dimensioni angolari delle corde C_1D_1 e C_2D_2 dalle durate del transito ΔT_1 e ΔT_2 :

$$C_1D_1' = \Delta T_1(\text{ore}) \times 3,96' / \text{ora}$$

$$C_2D_2' = \Delta T_2(\text{ore}) \times 3,96' / \text{ora}$$

$$SB_1' = \sqrt{(15,7')^2 - (C_1B_1')^2}$$

$$SB_2' = \sqrt{(15,7')^2 - (C_2B_2')^2}$$

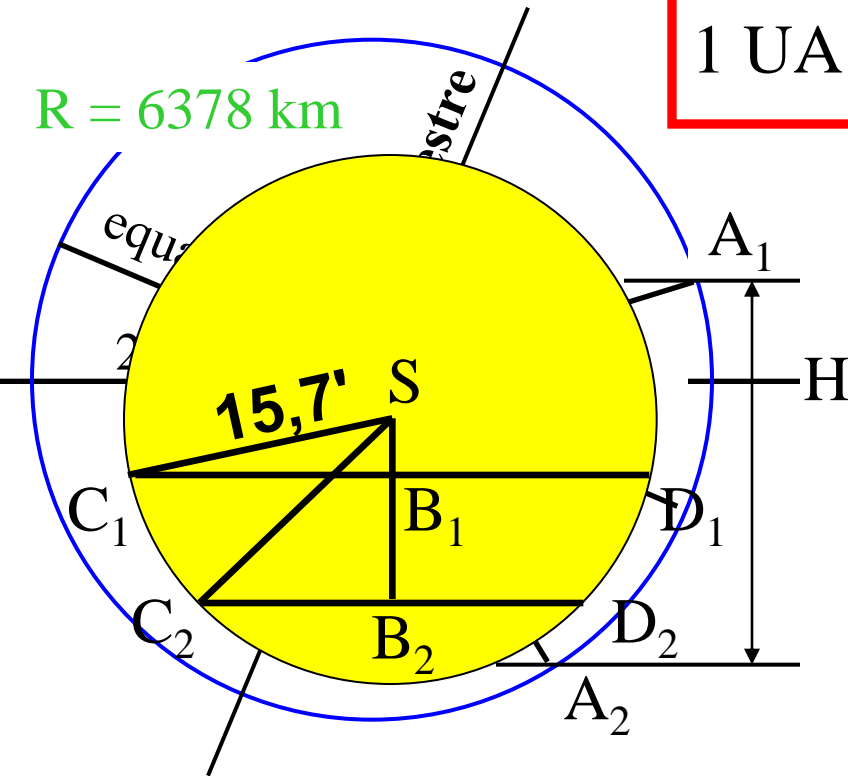
$$B_1B_2' = SB_2' - SB_1'$$

Angolo sotteso tra i punti B_1 e B_2 sul Sole visti da uno stesso punto sulla Terra (a distanza 1 UA)

$$\begin{aligned} B_1B_2 \text{ (rad)} &= B_1B_2(\text{km}) / 1 \text{ UA (km)} \\ &= 2,57 A_1A_2(\text{km}) / 1 \text{ UA (km)} \end{aligned}$$

Misura della distanza Terra-Sole con il transito di Venere

$$1 \text{ UA (km)} = 2,57 \frac{A_1 A_2 \text{ (km)}}{B_1 B_2 \text{ (rad)}}$$



Esempio:

A₁: Pechino lat 40° N

$\Delta T_1 = 6 \text{ h } 4 \text{ min } 21 \text{ s} = 6,072 \text{ h} \rightarrow$

$C_1 D_1 = (6,072 \times 3,96)' = 24,045'$

A₂: Adelaide lat 35° S

$\Delta T_2 = 5 \text{ h } 53 \text{ min } 1 \text{ s} = 5,884 \text{ h} \rightarrow$

$C_2 D_2 = (5,884 \times 3,96)' = 23,301'$

www.transitofvenus.nl/wp/where-when/local-transit-times/ $B_1 B_2 = 0.43' = 0.000125 \text{ rad}$

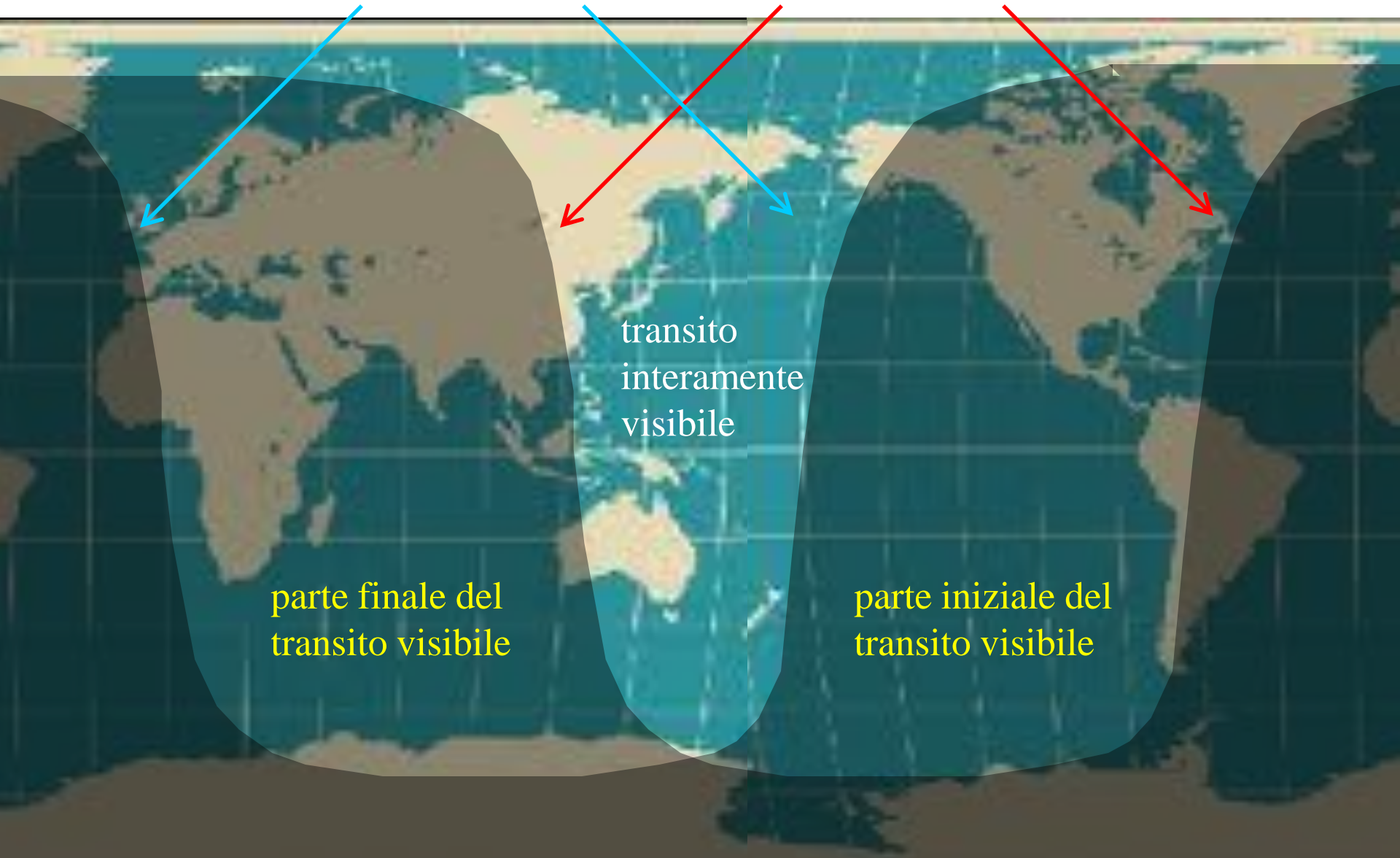
$A_1 A_2 = 2 \times 6378 \text{ km} \times \text{sen}(37,5^\circ) = 7765 \text{ km} \rightarrow 1 \text{ UA} = 160\,550\,000 \text{ km}$
(teorema della corda)

$A_1 A_2 = R \text{ sen}(\text{lat}A_1 - 23,4^\circ) + R \text{ sen}(\text{lat}A_2 - 23,4^\circ) = \rightarrow 1 \text{ UA} = 150\,000\,000 \text{ km}$
 $= 7254 \text{ km}$ ($A_1 A_2$ perpendicolare al piano dell'orbita)

Da dove sarà visibile il transito del 6 giugno 2012?

mappa buio-luce alla
fine del transito

mappa buio-luce all'inizio
del transito



Alla ricerca di pianeti extrasolari...



Alla ricerca di pianeti extrasolari...

Esistono altri sistemi planetari oltre al sistema solare?

Come si formano i sistemi planetari?

Esistono altri pianeti che ospitano forme di vita?

Gli antichi filosofi greci dicevano:

“ In alcuni mondi non ci sono il Sole e la Luna, in altri sono più grandi che nel nostro e in altri ancora più numerosi ” (Democrito ~ 460-370 a.C.)

“ Poiché gli atomi sono infiniti in numero, come già dimostrato, non esiste alcun ostacolo ad una infinità di mondi ” (Epicuro, ~ 340-270 a.C.)

“ Non può esserci più di un mondo ” (Aristotele, 384-322 a.C.)

Giordano Bruno (1548-1600) sosteneva che vi sono infiniti mondi e che questi sono tutti abitati da esseri intelligenti.

De l'Infinito, Universo et Mondi

Esistono pianeti fuori dal sistema solare !

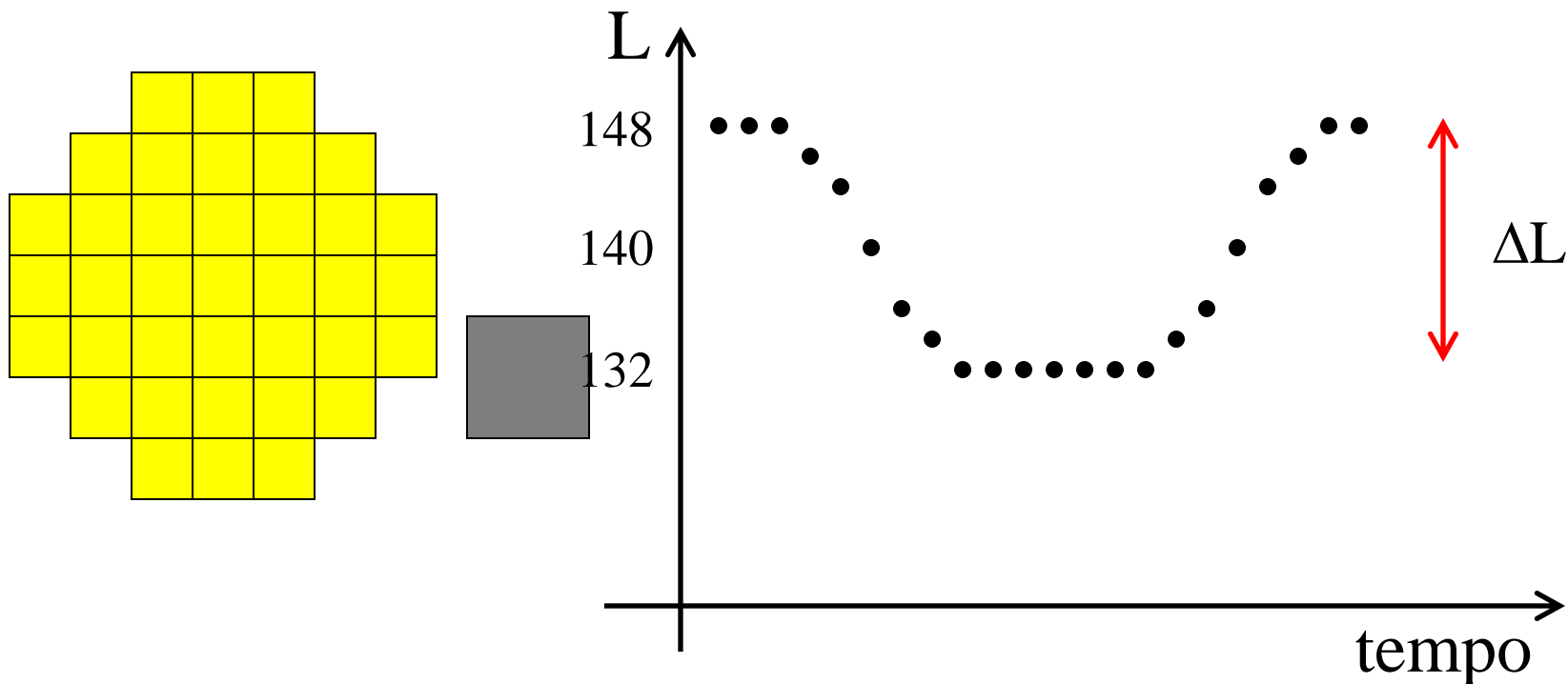
1992. Pianeti scoperti attorno alla pulsar PSR1257+12
(Wolszczan & Frail 1992, Nature, 255, 145)

1995. Pianeta scoperto attorno alla stella di tipo solare 51 Peg
(Mayor & Queloz 1995, Nature, 378, 355)

1999. Transito di un pianeta sul disco della stella HD 209458:
prima determinazione della massa (Charbonneau et al. 1999,
Henry et al.1999)

Fino ad oggi sono stati scoperti circa 600 oggetti di massa planetaria, di cui poco meno di 1/3 col metodo dei transiti

Il metodo del transito per la ricerca di pianeti extrasolari si basa sulle variazioni della luminosità di una stella mentre il pianeta transita davanti al suo disco



$$\Delta L/L \text{ (Variazione relativa di luminosità)} = (148 - 132)/148 = 16/148 = 0,108$$

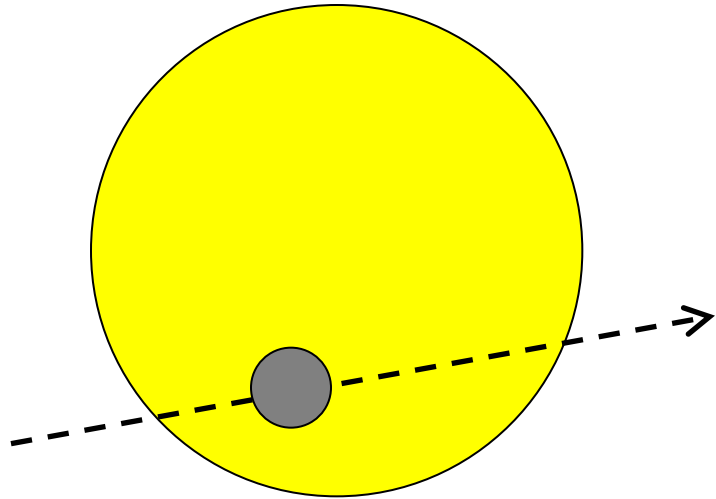
Dimensione angolare della stella = 37

Dimensione angolare del pianeta = 4

$$4 / 37 = 0,108$$

Nel caso di corpi celesti sferici, le proiezioni sono cerchi

→ dimensioni angolari = πR^2



Raggio
angolare

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\pi R_p^2}{\pi R_s^2} = \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2$$

Esempio: Variazione di luminosità
del Sole per il transito di Venere

Venere: raggio $R_V \approx 6000$ km a
distanza $d_{TV} \approx 41\,000\,000$ km
 $R_V = 6000/41000000 = 0,000146$ rad
 $\approx 0,5'$

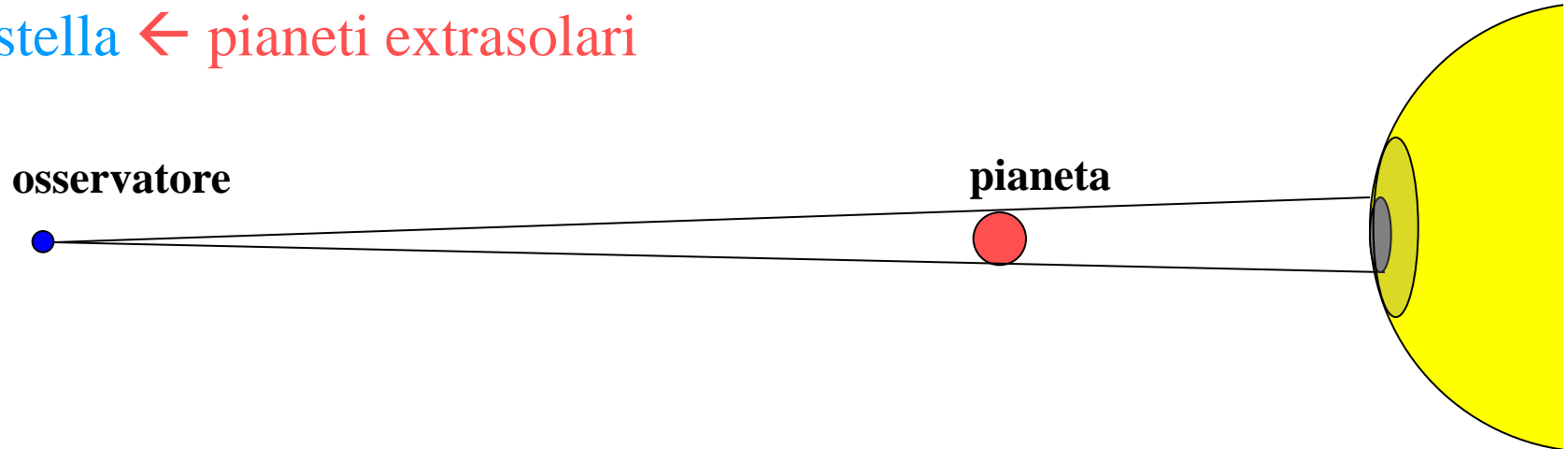
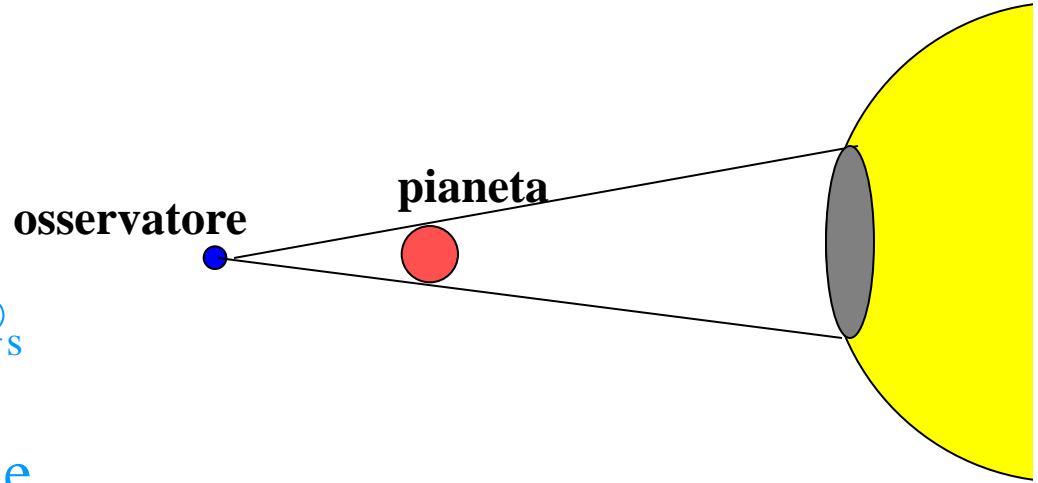
Sole: raggio $R_{Sole} = 696\,000$ km a
distanza $150\,000\,000$ km →
 $R_{Sole} = 16'$

$$R_V/R_{Sole} \approx (0,5'/16') = 0,031$$

$$(\neq R_V/R_{Sole} = 6000/696000 = 0,0086)$$

$$\Delta L/L = 0,031^2 \approx 0,001 = 0,1\%$$

All'aumentare della distanza dell'osservatore dal sistema pianeta-stella, il rapporto R_p/R_s si approssima sempre di più al rapporto tra i raggi del pianeta e della stella ← pianeti extrasolari



$$\frac{\Delta L}{L} = \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2$$

Per un pianeta grande quanto Giove che transita davanti a una stella con $R_s \sim R_{\text{Sole}}$, $\Delta L/L \sim 1\%$
 Nel caso di dimensioni terrestri, $\Delta L/L \sim 0,008\%$
 ← difficile da Terra (effetti atmosfera + variabilità della stella)

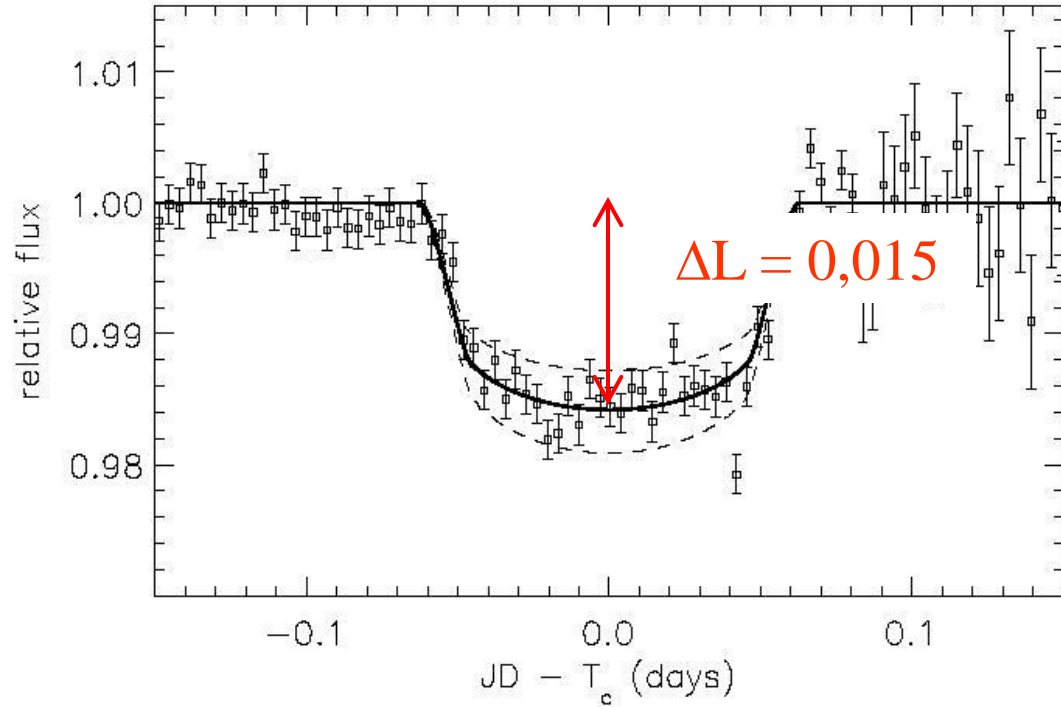
Il primo transito di un pianeta extrasolare osservato (1995): HD 209458b

HD 209458

Costellazione: Pegaso

Distanza: 158 anni luce

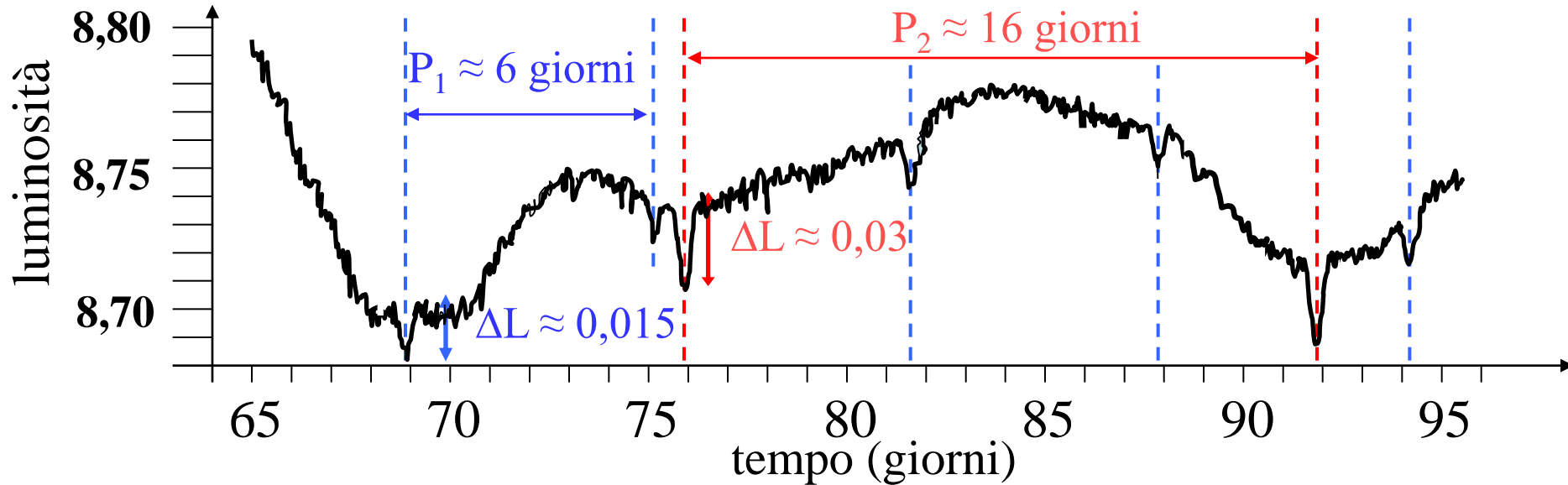
La stella gialla HD 209458 è simile al Sole, è ha un raggio pari a circa 793 000 km



$$\frac{\Delta L}{L} = \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2 \quad \rightarrow$$

$$R_p = R_s \sqrt{\frac{\Delta L}{L}} = 793\,000 \times \sqrt{0,015} \approx \\ \approx 97\,000 \text{ km (1,4 volte il raggio di Giove)}$$

Curva di luce della stella Kepler 7825899: quanti pianeti vedete?



Kepler 7825899 ha un raggio $R_s \approx 860\,000$ km e massa $M \approx 1,5 M_{\text{Sole}}$

Pianeta 1: $R_p = R_s \sqrt{\frac{\Delta L}{L}} = 860\,000 \times \sqrt{0,015/8,70} \approx 35\,700$ km

Pianeta 2: $R_p = 860\,000 \times \sqrt{0,03/8,74} \approx 50\,400$ km

Dalla 3° legge di Keplero: $a^3 \approx M P^2$ (a = distanza pianeta-stella in UA, M = massa della stella in masse solari, P = periodo orbitale in anni)

Pianeta 1: $a \approx 0,074$ UA

Pianeta 2: $a \approx 0,14$ UA

Pianeti molto grandi e molto vicini alla loro stella

Caratteristiche e limiti del metodo del transito

- E' adatto a scoprire pianeti di grandi dimensioni che orbitano molto vicino alla propria stella
- Variabilità della luminosità della stella su tempi dell'ordine della durata del transito rende difficile la rivelazione di pianeti terrestri e potrebbe creare falsi positivi
- Probabilità di osservare transiti relativamente basse ...
(a causa della orientazione random delle orbite)
...oppure conoscenza *a priori* dell'inclinazione dell'orbita
→ binarie ad eclissi

Rappresentazione artistica
di HD 209458b

(un pianeta che evapora!)

