

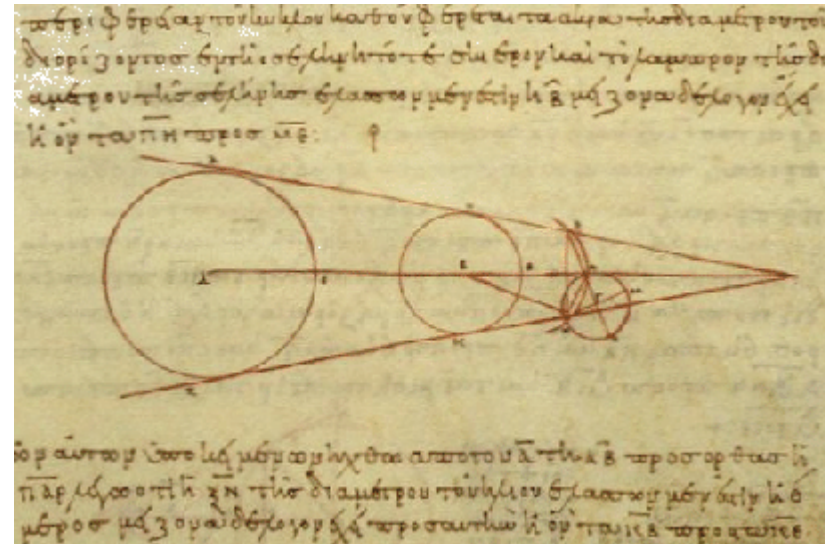
# Aristarco di Samo rivisitato:

## I'eclissi di Luna del 15 giugno 2011

Sergio Giudici - Università di Pisa

*Non c'è nessuna cosa inattesa  
nè che impossibile giurar si possa,  
nè stupenda, da quando Zeus, il padre degli dei,  
fece notte, celnado lo splendore di mezzogiorno;  
luttuoso timore ha preso gli uomini.  
D'ora in poi tutto ci si può aspettare;  
non meravigliatevi più se le fiere, dai delfini,  
hanno in cambio i pascoli del mare,  
e si invaghiscan delle risonanti onde  
marine più che della Terra,  
e sia lor più caro sprofondarsi nella montagna*

**Frammento di Archiloco, VII sec.**



**Aristarco di Samo (III sec. A.C.)**

**“Sulle dimensione e sulle distanze”**

Copia greca del X sec.

(Vat. gr 204 fol. 116 recto math06 NS.02)

# *Eclissi Lunare come sorgente di informazione*



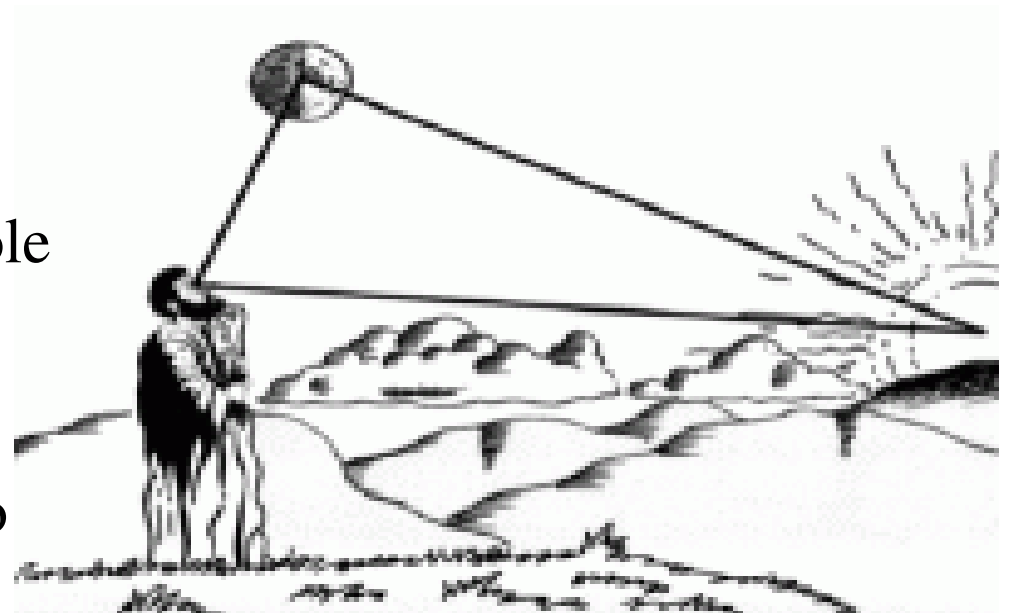
**Aristotele** (IV sec. A.C. )

Sfericità della Terra

**Aristarco** (III sec. A.C.)

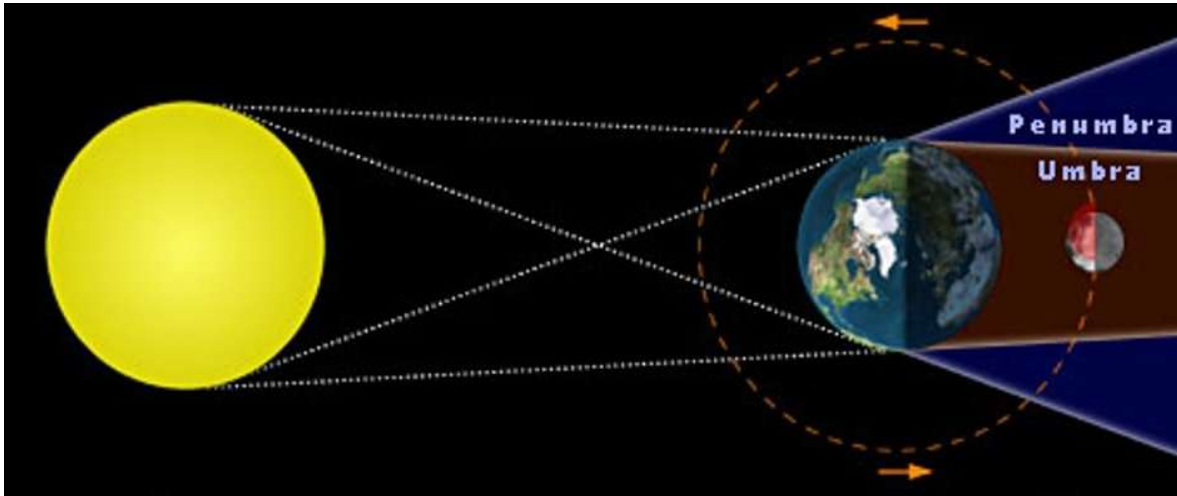
Misura la distanza della Luna e del Sole  
(Fondamento dell'eliocentrismo ?)

**G. Wendelin** (1630) : ripete Aristarco  
con osservazioni telescopiche



# *Eclissi Lunare: il GPS del mondo antico*

Tolomeo (II sec.) longitudine misurate confrontando  
l'ora locale dell' eclissi

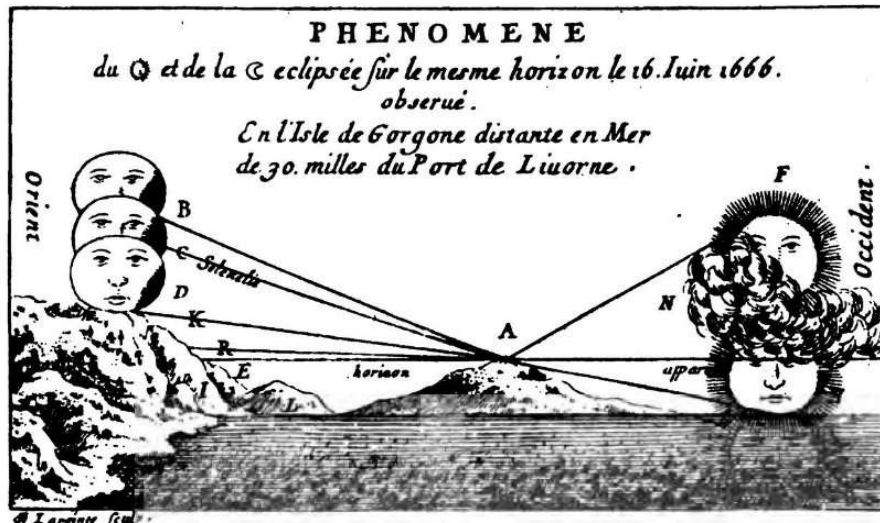
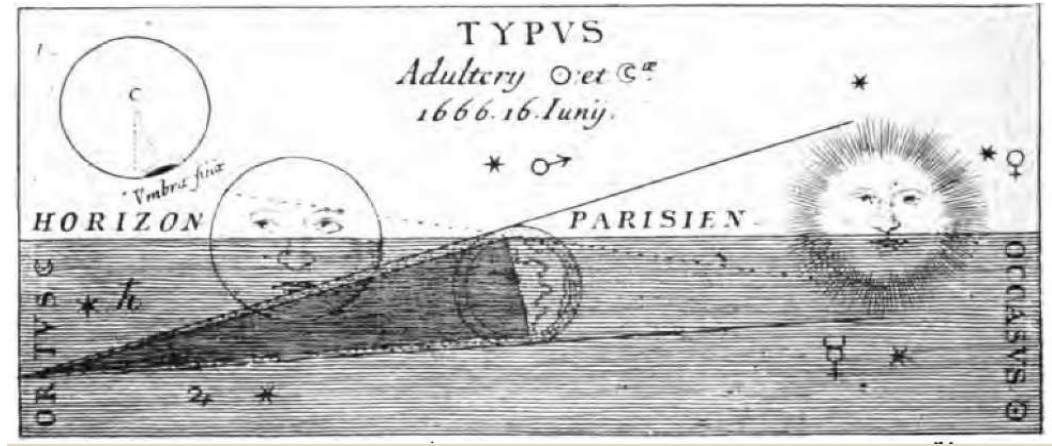


L'eclisse è un fenomeno simultaneo per tutti gli osservatori !!!  
SINCRONIZZAZIONE DEGLI OROLOGI

# Eclissi luni-solari e ottica nel '600

**Payen, Malebranche, Gassendi**

(XVII sec.) “cercano” eclissi prossime alla Levata della Luna per studiare i fenomeni rifrattivi dell'atmosfera.

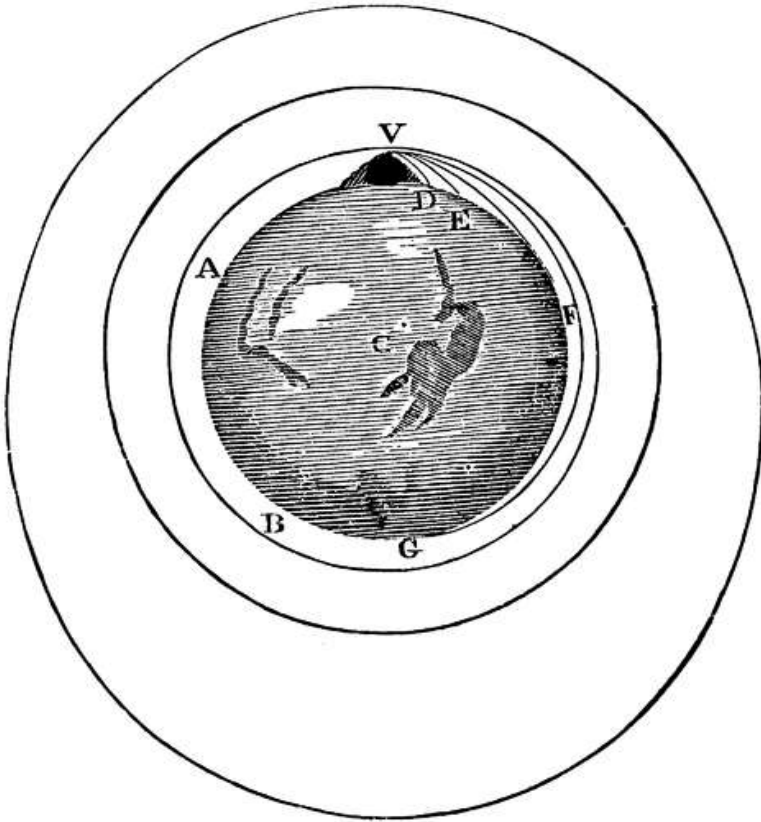


Eclissi luni-solare del **16 Giugno 1666**  
Spedizione osservativa all'isola Gorgona  
voluta e finanziata dal granduca Leopoldo.

# Oggi : interesse didattico

Si può usare il metodo di Aristarco per verificare Newton?

Con quale precisione ?



Unificazione di fisica terrestre e celeste:

Immagine tratta da *De Mundi Systemate* (1728)

$$\left(\frac{d_L}{R_T}\right)^3 = \frac{gT^2}{4\pi^2 R_T^2}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

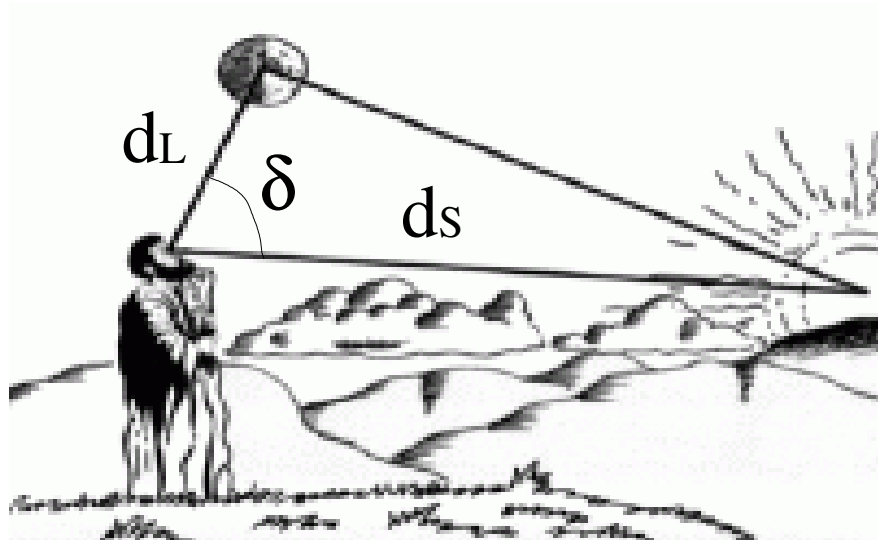
$$T = 27^g 7^h 43^m$$

$$R_T = 6378 \text{ km}$$

$$\frac{d_L}{R_T} \simeq 60$$



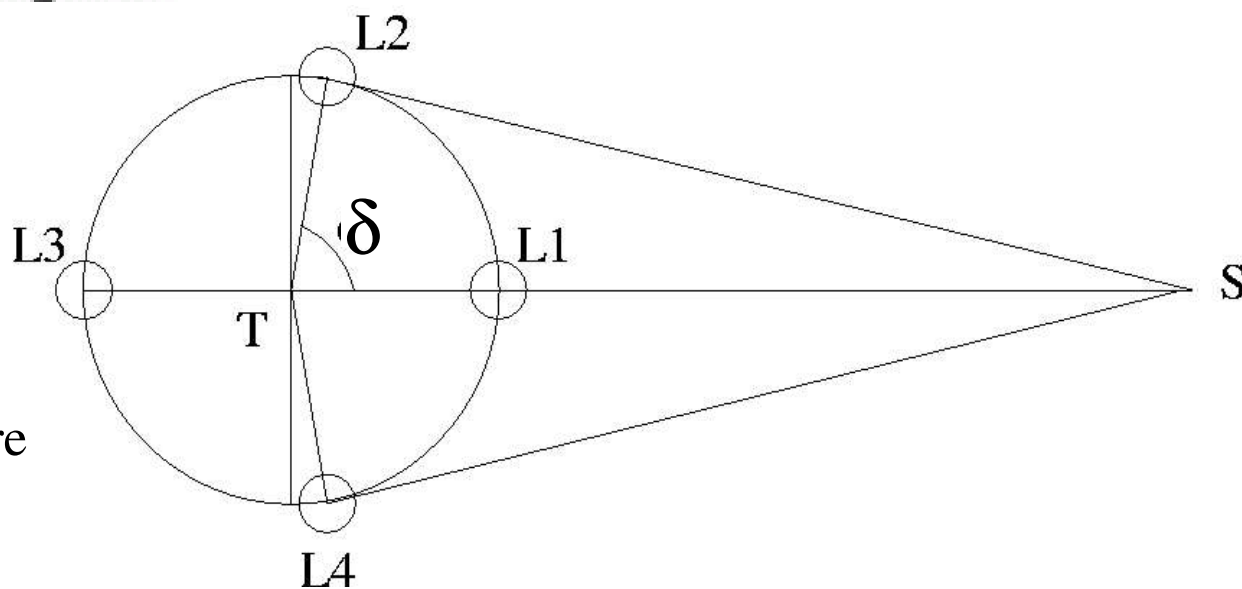
# *Metodo di Aristarco: dicotomia lunare*



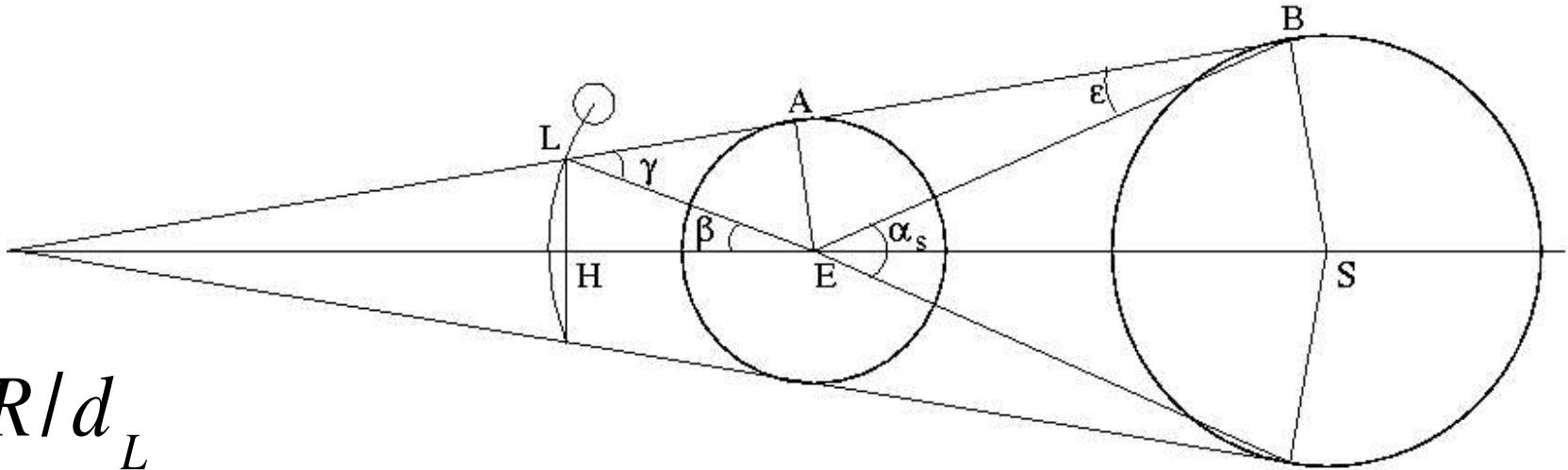
$$\cos \delta = \frac{d_L}{d_S}$$

$$87^\circ < \delta < 90^\circ$$

Assumendo una incertezza  
massima di 12 ore nelle quadrature



# Metodo di Aristarco (diagramma eclissi)



$$\beta = R/d_L$$

$$\gamma = R_T/d_L$$

$$\epsilon = R_T/d_S$$

$$k \stackrel{\text{def}}{=} R/R_L$$

$$\frac{R_T}{d_L} = \frac{1}{2} \left( \frac{k \alpha_L + \alpha_S}{1 + \cos \delta} \right) \sim \frac{1}{2} (k \alpha_L + \alpha_S)$$

distanza espressa in funzione di grandezze misurabili

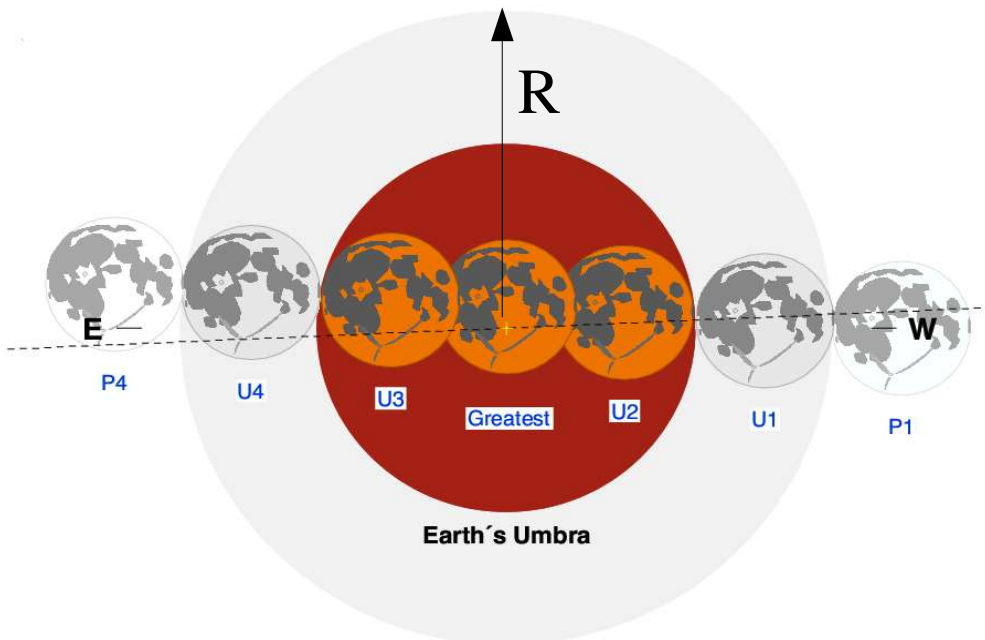
# Misura della distanza

Tipico esempio di misura indiretta: misuriamo alcune grandezze per determinarne un'altra

- 1) Angolo apparente della Luna e Sole  $\alpha_L = 1/2^\circ \pm ?$  ;  $\alpha_S = 1/2^\circ \pm ?$
- 2) Rapporto tra raggio lunare e ombra  $k = 2.66 \pm ?$
- 3) Durata della fase parziale  $\Delta T_p = (60 \pm ?) \text{ min}$
- 4) Durata della fase totale  $\Delta T = (100 \pm ?) \text{ min}$

Assai imprecisi e comunque impossibile misurarli da Pisa: U2 vicino alla Levata

Aristarco insegna che note queste grandezze si determina la distanza della Luna



$$\frac{R_T}{d_L} = \frac{1}{2} (k \alpha_L + \alpha_S)$$

$$k = \frac{R}{R_L} \sim 1 + \frac{\Delta T_p}{\Delta T}$$



# *Angolo apparente della Luna*

Cambia (+- 10%) durante il ciclo lunare.

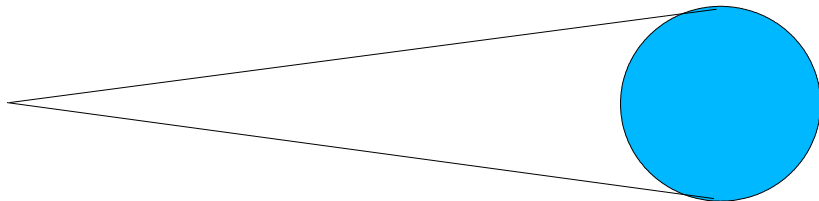
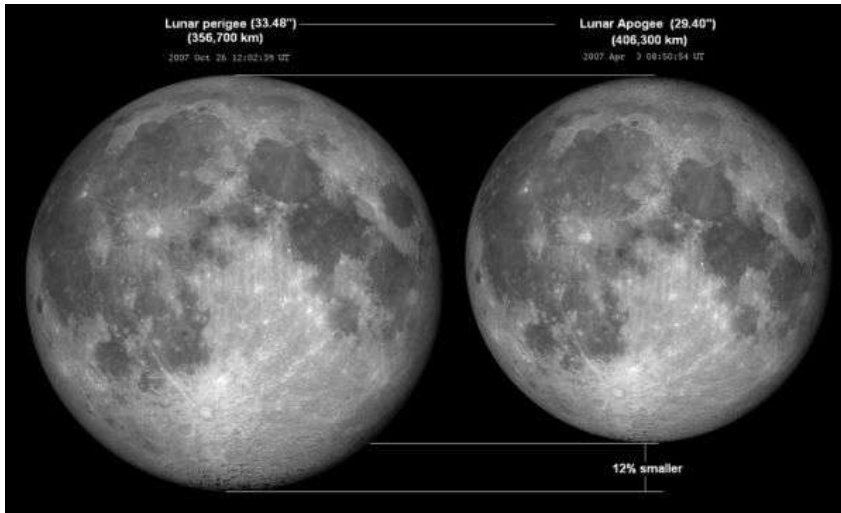
Nel momento dell'eclisse

$$\alpha_L = (0.530 \pm 0.004)^\circ$$

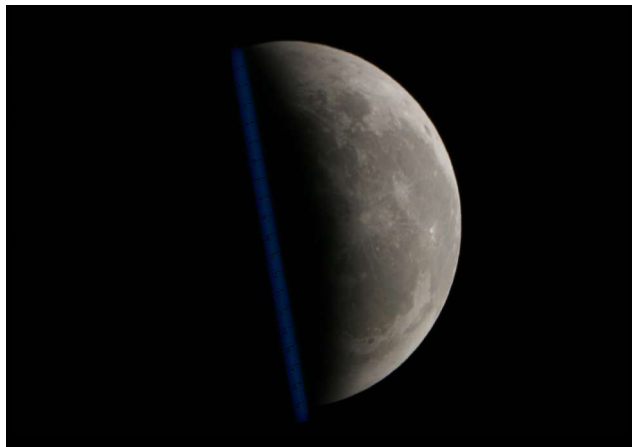
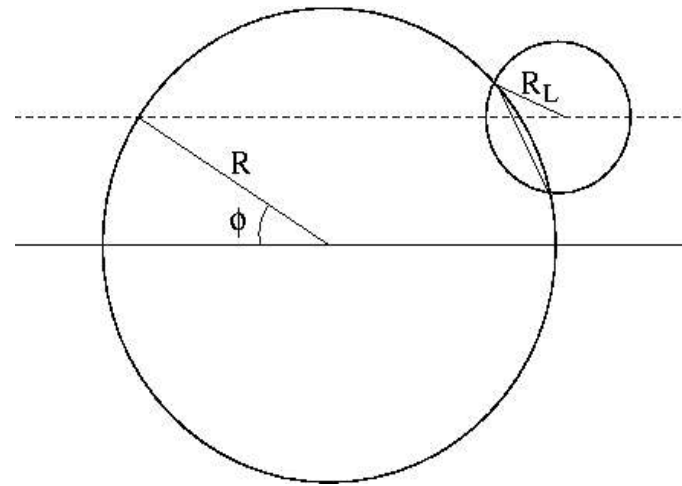
Pixel lungo il diametro ~ 1780

1 pixel = 1.07 secondi d'arco.

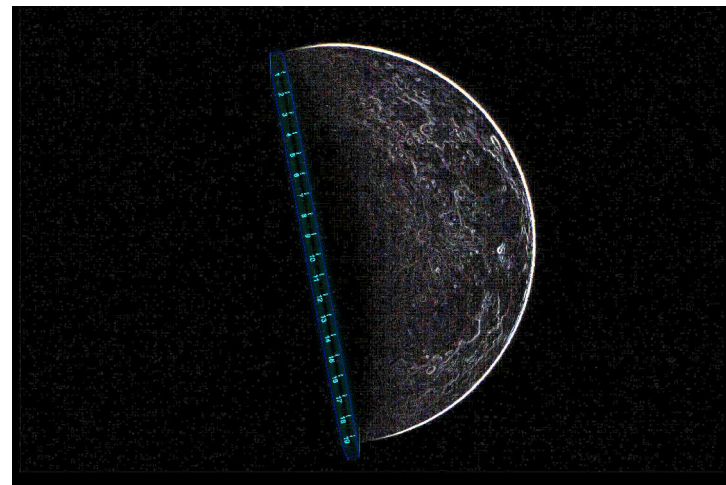
Calibrazione effettuata fotografando un oggetto di dimensioni note posto a distanza nota



# *Misura della corda: Righello o pixel counting*



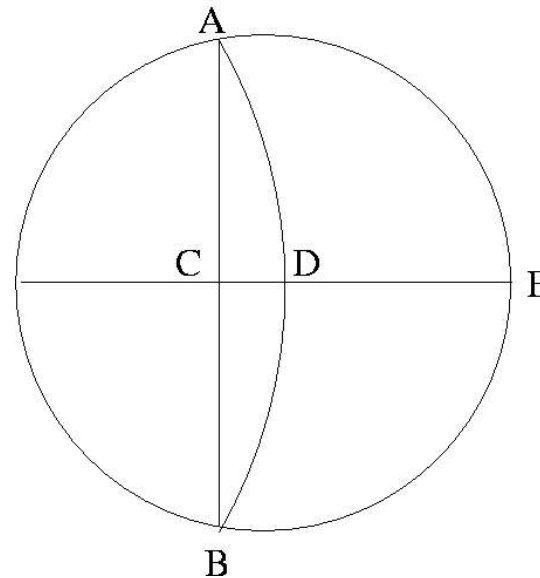
2 delle 80 immagini raccolte



edge – detection

# Misura di $R/R_L$ : metodo geometrico\*

Trovare il raggio di un cerchio quando è data una parte di circonferenza



La posizione del punto D è incerta.  
Il contorno dell'ombra è mal definito  
(Diffusione e assorbimento della luce)

$$k = \frac{R}{R_L} = 2.6 \pm 0.3$$

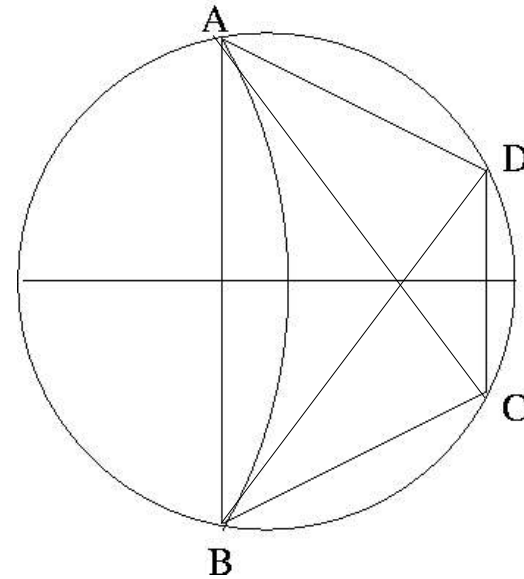
$s$  = sagitta CE

$c$  = semi-corda AC

$$R = (c^2 + s^2) / 2s$$

\* *Scuole Superiori*

## *Varianti del metodo geometrico \**



raggio del cerchio circoscritto ad un triangolo di lati  $a, b, c$   $R = abc/4S$

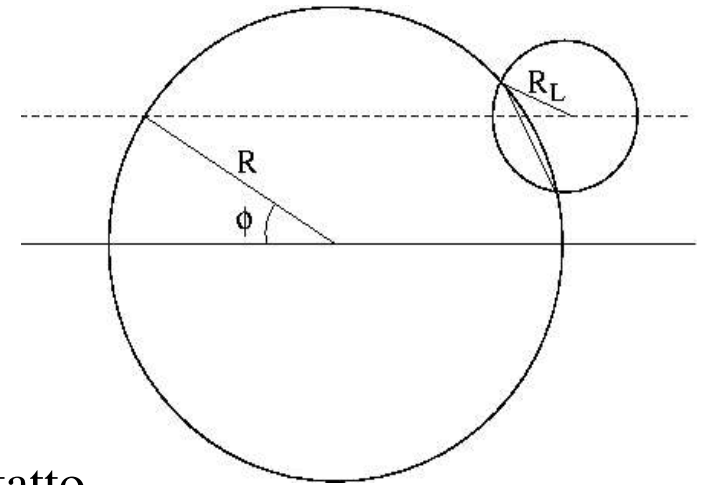
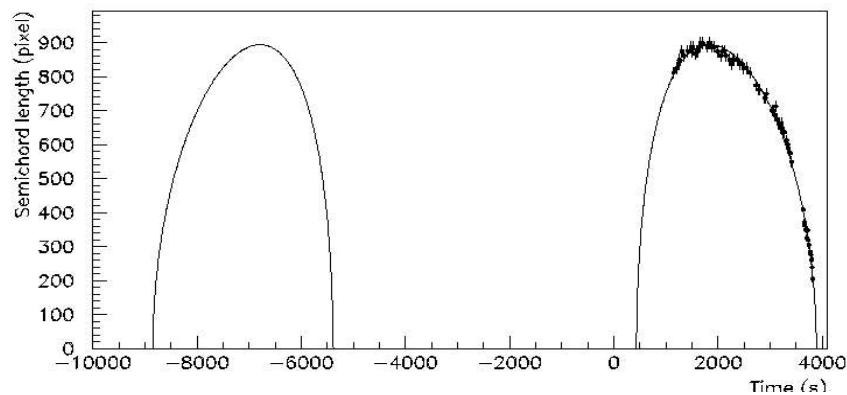
Quattro punti stanno su un cerchio se  $AC * BD = AB * CD + BC * AD$

*(Teorema di Tolomeo)*

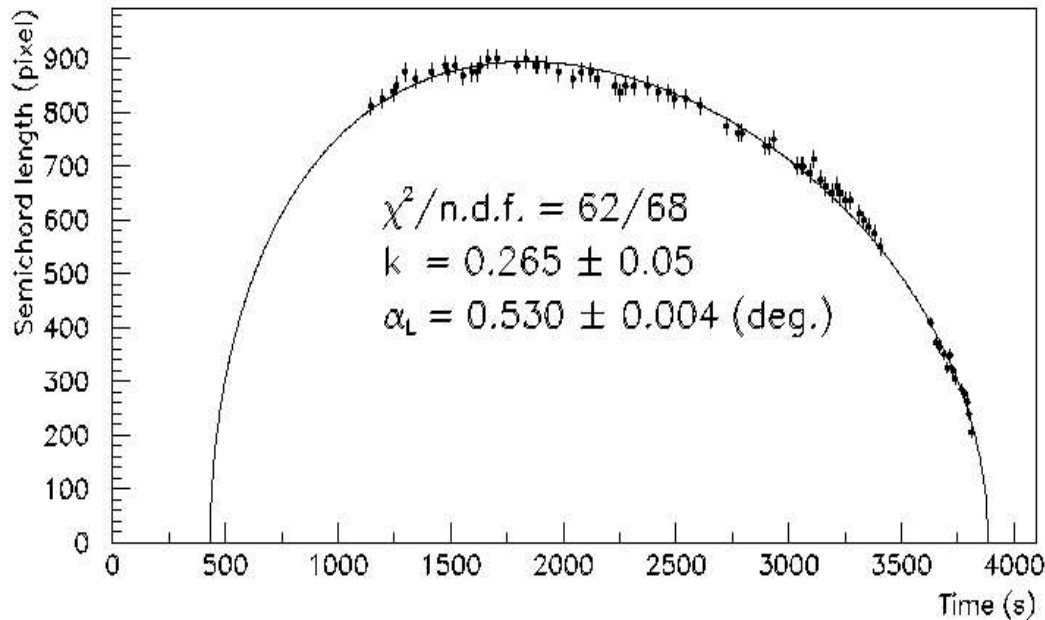
Lunghezze e superfici su immagini digitali  
si misurano facilmente in pixel!

# Misura di $R/R_L$ : metodo cinematico \*

Andamento della corda in funzione del tempo



Purtroppo non abbiamo dati tra il primo e il secondo contatto



Dalla forma della curva si determina

$$k = \frac{R}{R_L} = 2.65 \pm 0.05$$

\* Studenti Univ. (minimi quadrati)

## ...infine la distanza

$$\frac{R_T}{d_L} = \frac{1}{2}(k\alpha_L + \alpha_S) \quad \text{Formula di Aristarco}$$

$$\alpha_L = (0.530 \pm 0.04)^\circ \quad \text{Misurato contando i pixel}$$

$$\alpha_S = (0.533 \pm 0.02)^\circ \quad \text{Valore medio}$$

$$k = 2.65 \pm 0.05 \quad \text{metodo cinematografico}$$

$$\frac{d_L}{R_T} = 59.1 \pm 1.0 \pm ?$$

### Altre misure storiche



Claudio Tolomeo: 59

Ticho Brahe\*: 56

G. Wendelin: 60

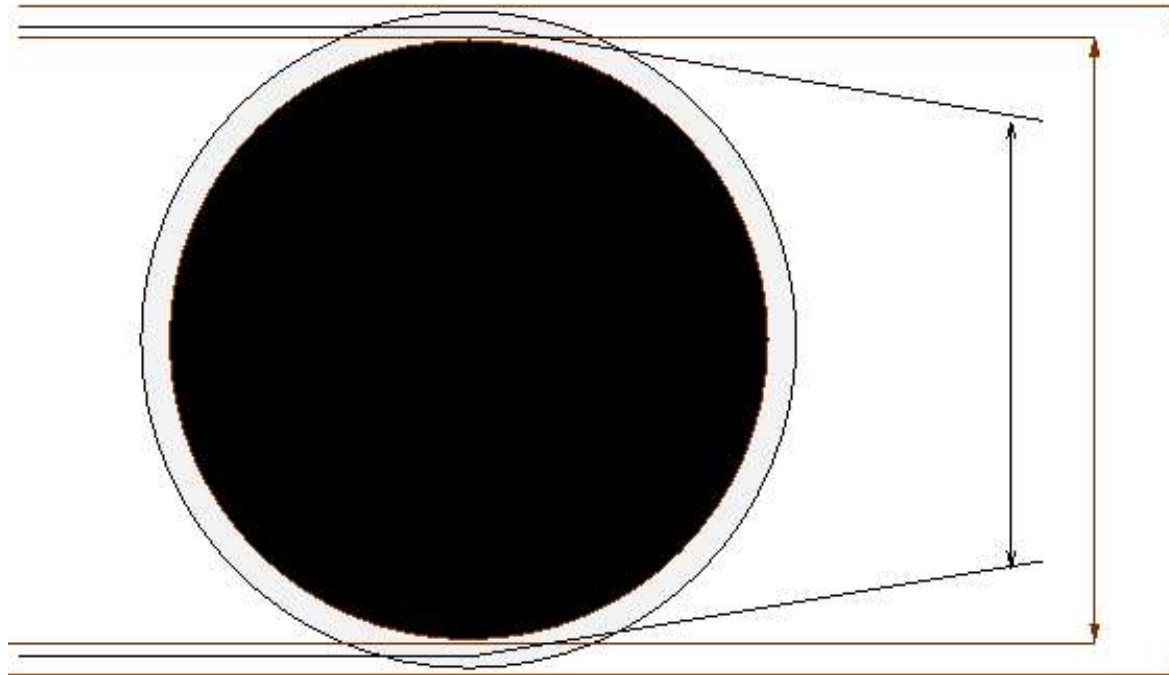
\* Valuta male gli effetti della rifrazione  
( cfr. Newton, Principia III)

Altri effetti che valuteremo

- non circolarità orbita
- effetti atmosferici



# Esempio di effetto sistematico: assorbimento e deflessione della luce



$$\frac{\Delta r}{r} = \pm 0.02$$

Allargamento/restringimento delle dimensioni dell'ombra.  
L'effetto dipende da quanto pulviscolo è presente nell'atmosfera.  
Potrebbe risente dell'attività vulcanica !

# Il sogno di Keplero : La terra vista dalla Luna



Il suolo si tinge di rosso a causa dell'atmosfera terrestre che disperde la componente “azzurra” e deflette quella “rossa”

Il cielo diventa rosso al tramonto!

# ... se qualcuno andasse in Australia!

## Total Lunar Eclipse of 2011 Dec 10

Ecliptic Conjunction = 14:37:29.1 TD (= 14:36:21.6 UT)  
 Greatest Eclipse = 14:32:56.5 TD (= 14:31:49.0 UT)

Penumbral Magnitude = 2.1860    P. Radius = 1.2023°    Gamma = -0.3882  
 Umbral Magnitude = 1.1061    U. Radius = 0.6609°    Axis = 0.3571°

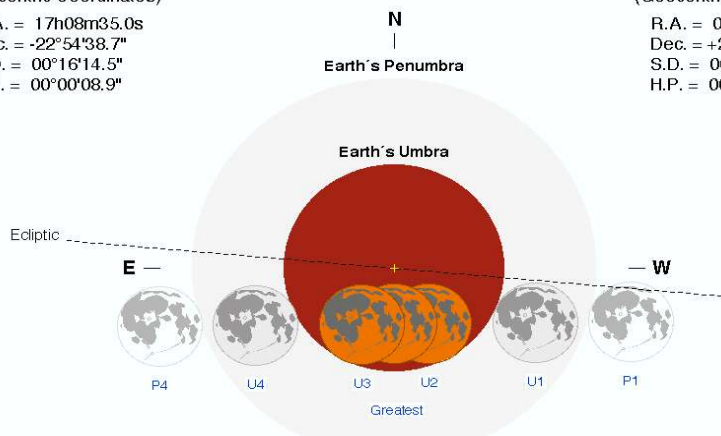
Saros Series = 135    Member = 23 of 71

### Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 17h08m35.0s  
 Dec. = -22°54'38.7"  
 S.D. = 00°16'14.5"  
 H.P. = 00°00'08.9"

### Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 05h08m33.9s  
 Dec. = +22°33'13.3"  
 S.D. = 00°15'02.4"  
 H.P. = 00°55'11.7"



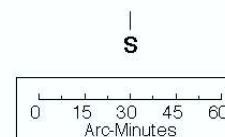
### Eclipse Durations

Penumbral = 05h56m21s  
 Umbral = 03h32m15s  
 Total = 00h51m08s

$\Delta T = 68$  s

Rule = CdT (Danjon)

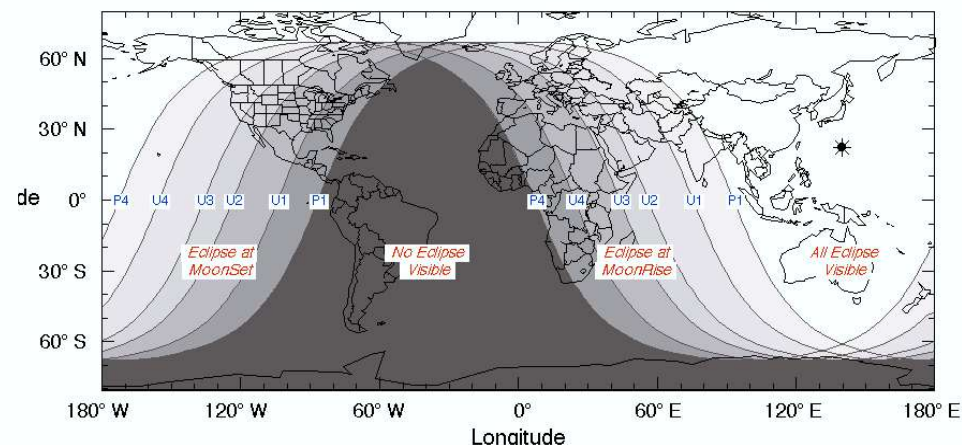
Eph. = VSOP87/ELP2000-85



F. Espenak, NASA's GSFC  
[eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html](http://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html)

### Eclipse Contacts

P1 = 11:33:36 UT  
 U1 = 12:45:43 UT  
 U2 = 14:06:16 UT  
 U3 = 14:57:24 UT  
 U4 = 16:17:58 UT  
 P4 = 17:29:57 UT



... ci porti qualche fotografia