

Misure dell'equinozio vernale in Santa Maria degli Angeli Anno 2019

Introduzione

Si chiama equinozio vernale dal latino ver=primavera, autumnalis quello d'autunno.

Mentre il solstizio invernale in latino si dice brumalis, aestivum quello estivo.

L'obiettivo principale delle nostre misure è la conoscenza dell'istante in cui il centro del Sole attraversa la linea dell'equatore celeste materializzata a terra da una sequenza di 3 stelle dorate sul pavimento, un pallino, subito prima del riquadro con l'Ariete e una linea trasversa di marmi sulla meridiana, nei pressi dei due cronometri degli equinozi.

L'equatore celeste e i tropici

L'avvicinamento del Sole all'equinozio può essere immaginato come la prosecuzione di un'oscillazione periodica che dura un anno tropico (nome greco che significa svolta) da una svolta all'altra che sono i due solstizi.

L'oscillazione deve essere considerata in cielo rispetto al meridiano che passa per lo zenit del luogo (la nostra verticale) e interseca l'orizzonte esattamente a Sud e a Nord.

Le posizioni che il centro del Sole individua su questo meridiano oscillano tra i due tropici (solstizio d'estate circa 71.5° sopra l'orizzonte, solstizio d'inverno circa 24.5°) e hanno come punto mediano l'equatore celeste (che a Roma è a circa 48° di altezza sull'orizzonte, pari a 90° -latitudine del luogo, questa pari a 41.9°).

L'equatore, a sua volta, è un altro cerchio massimo della sfera celeste che interseca esattamente l'orizzonte a Est e a Ovest .

Ricordiamo che in Astronomia gli angoli sul cerchio dell'orizzonte si contano in senso orario a partire da Nord e si chiamano azimut.

Così abbiamo la seguente tabella degli azimut

Nord= 0°

Est= 90°

Sud= 180°

Ovest= 270°

Moto del Sole in declinazione, la massima velocità angolare nel moto armonico

Il moto armonico è quello di una molla a cui viene attaccato un peso: sale e scende tra due svolte, e al centro esatto delle oscillazioni il peso acquisisce la velocità massima, o verso l'alto o verso il basso.

Questo moto è regolato dalla legge di Hooke, la cui formula $F=k \cdot x$ associa la forza di richiamo della molla F all'estensione x della molla stessa rispetto al punto di equilibrio (che è anche il centro delle oscillazioni, ed è il nostro equatore celeste per il Sole), e anche alla costante elastica della molla k , che può essere più o meno rigida.

Da questa formula otteniamo immediatamente che quando $x=0$, cioè il corpo passa per la posizione di equilibrio, la forza è nulla.

Nonostante $F=0$ il corpo ha raggiunto la massima velocità per l'accelerazione sperimentata precedentemente, e da lì in poi comincerà a percepire un'accelerazione negativa, di frenamento, che è la forza di richiamo verso l'equilibrio.

Dice il primo principio della Dinamica di Newton, che fu individuato già da Galileo, e prende il nome di Principio di Inerzia, che un corpo non soggetto a forze tende a mantenere il suo stato di moto (a velocità costante quindi) oppure di quiete (se è a velocità nulla).

Abbiamo citato Galileo che già nel 1589 individuò questi concetti studiando il moto del pendolo e il piano inclinato, Hooke che studiò il moto armonico attorno al 1663 e Newton che pubblicò i Principia Mathematica Philosophiae Naturalis nel 1687.

In Astronomia fu Giandomenico Cassini che nel 1655, nel ricostruire la meridiana di S. Petronio a Bologna già tracciata dal padre Domenicano Egnazio Danti nel 1577, pubblicò un disegno che aiuta a capire l'analogia tra moto armonico del Sole e moto armonico di un peso attaccato ad una molla.

E' interessante notare che un peso che oscilla attaccato ad una molla si muove proprio come la proiezione di un punto sul diametro del cerchio su cui sta girando di moto circolare uniforme.

La parentela tra il moto circolare e quello del peso attaccato ad una molla è fondamentale in Fisica, in Matematica e in Astronomia.

Persino le forze tra gli atomi e tra gli elettroni si studiano utilizzando questo modello.

La natura della luce stessa e l'energia dei fotoni è legata alla loro frequenza di oscillazione...

Tornando al nostro Sole che attraversa l'equatore, lo fa a velocità costante, perché questa linea individua la posizione di equilibrio del suo moto tra i due tropici.

Quindi con una buona approssimazione durante la settimana a cavallo dell'equinozio, che cadrà tra il 20 e il 21 marzo, possiamo considerare dal 18 al 23 (18-23 19-22 20-21) la velocità angolare del Sole, quella del suo avvicinamento all'equatore, costante.

Misura istantanea della declinazione del Sole

Cercheremo di iniziare le nostre misure alle 10:20 in modo da avere quasi 2 ore intere prima del transito meridiano.

La legge del Danti (1577) dice che il Sole si alza di 1 minuto d'arco all'ora all'equinozio di primavera. Quindi in 2 ore potremo apprezzare la salita di 2 minuti d'arco dall'emisfero australe (che è rappresentato dalla parte della chiesa che va dalla linea dell'equatore alla navata centrale verso il solstizio invernale) all'emisfero boreale che è la rimanente parte verso il foro stenopeico.

Caratteristiche dell'immagine del Sole.

è quasi esattamente un'ellissi (in realtà sono due semiellissi a causa dello spessore di circa 6 mm del foro stenopeico, da rimisurare con precisione quando sarà fatta la ricognizione del foro stenopeico)

L'asse maggiore dell'ellissi è orientato esattamente verso il foro stenopeico.

Quindi rispetto alla linea retta dell'equatore vedremo anche questa rotazione oraria dell'immagine solare. In due ore farà un angolo di 30° , riscontrabile con una squadra da $30^\circ/60^\circ$ che usate a disegno. L'altra squadra a 45° ci permetterà di vedere quando il Sole raggiunge questa altezza sull'orizzonte (l'almucantarat di 45° , il cerchio di altezza 45° che gira tutto attorno sopra l'orizzonte).

Dempta Penumbra

Questa frase latina è stata scritta sui due cronometri degli equinozi da Francesco Bianchini (1702).

E' un "ablativo assoluto" una costruzione latina che si traduce "una volta che sia stata sottratta (dempta) la penombra". Come vedete i latini erano molto chiari e sintetici. Un linguaggio adatto alla scienza, che richiede precisione. E fino al 1800 molti scienziati scrivevano ancora in latino per farsi capire da tutti i loro colleghi. Poi piano piano emersero le varie lingue, Galileo inaugurò la prosa scientifica in Italiano, il Francese prese via via importanza nel secolo dei Lumi, il settecento, poi fu la volta del Tedesco e gradualmente l'Inglese spinto sia dall'Inghilterra che dagli Stati Uniti che hanno avuto un ruolo sempre crescente nella scienza.

Cos'è la penombra?

Attorno alla (doppia) ellissi solare sul pavimento c'è una penombra, che è la zona di immagine non illuminata interamente dalla fotosfera solare.

Immaginate di avere un rotolo di scotch: è un cilindretto.

Se lo tenete in orizzontale e provate a guardare da sotto a sopra vedrete i due archi di cerchio che lo limitano. Questo determina due archi di ellissi a terra.

Questi due archi tendono ad essere una sola ellissi se il cilindretto avesse uno spessore nullo o quasi. Attualmente questo spessore vale circa 6 mm. Quando il Sole è a 45° il bordo Nord del Sole che è proiettato più vicino al foro stenopeico, si trova 4 mm più verso il solstizio di inverno, di quanto non lo sia il bordo Sud. Con il risultato che facendo la media angolare tra bordo Nord e bordo Sud risulta che il centro del Sole si trovi circa 3 mm più a Nord di dove dovrebbe stare.

Ecco dunque in che consiste la complessità dell'operazione "demptenda penumbra" della sottrazione della penombra (usando un gerundivo latino - altra costruzione latina che si può tradurre "della penombra da sottrarre", così come il famoso gerundivo usato da Catone "delenda Carthago" significava che Cartagine deve essere cancellata (distrutta)-.

Al bordo Nord dell'immagine si devono aggiungere 6 mm verso il foro stenopeico. E poi sottrarre la penombra che equivale a 12,5 mm cioè il raggio del foro stenopeico.

Il bordo Sud non si deve aggiungere o togliere niente, solo i 12,5 mm del raggio del foro stenopeico.

Perché la penombra ideale è il diametro del foro stenopeico?

immaginate di disegnare un Sole sul muro, facendo un cerchio.

E poi osservatelo da qualche metro di distanza attraverso il vostro cilindretto dello scotch sempre tenuto in posizione orizzontale, come sta il foro stenopeico a s. Maria degli Angeli.

Ci saranno delle posizioni dalle quali state osservando dentro il cerchio, e delle posizioni in cui potete vedere il bordo del cerchio.

Tutte le posizioni da cui si vede il bordo del cerchio sono posizioni che sono illuminate parzialmente dalla fotosfera del Sole, che nell'esempio del muro ha pure una intensità uniforme su tutto il cerchio. Questa è la penombra: quando solo una parte del campo di vista dello strumento è occupata dal disco solare.

Già Angelo Secchi a Roma al Collegio Romano durante l'eclissi del 1851 aveva valutato che l'intensità luminosa del disco solare al centro è quasi il doppio di quella ai bordi.

Oggi sappiamo che vicinissimo ai bordi questa intensità cala al 16% del valore centrale, rimanendo prima prossima ai dati di Secchi.

Questo significa che la parte più vicina ai lembi del Sole illumina di meno, quindi la penombra reale è più piccola di quella ideale per questo ulteriore effetto di smorzamento luminoso.

Nella pratica si sottraeva il raggio del foro stenopeico, che oggi vale 12,5 mm, sia a Nord che a Sud.

Noi dovremo tenere conto però anche dell'asimmetria appena descritta.

Contrasto luminoso e penombra.

E' difficile individuare il confine preciso tra la penombra e la luce di fondo che nella chiesa tutta illuminata è abbondante (anche di notte... se si volesse osservare la Luna, la luce della città dalle finestre è troppo forte).

Bianchini nel 1700 faceva chiudere con tende tutti i finestroni della basilica durante le osservazioni meridiane.

Noi possiamo tentare un'operazione singolare mettendoci attorno all'immagine per bloccare la luce ai lati e aprire un ombrello nero sopra, in modo da creare una stanzetta dove chi segna i bordi del Sole a terra può vedere bene le penombre.

Per la penombra verso il foro stenopeico il contrasto luce-ombra mi sembra più facile da percepire, mentre per quella opposta conviene oscurare quasi tutta l'immagine solare con un cartone, tranne il bordo di cui vogliamo vedere la penombra, visto che la posizione migliore per vedere il Sole riflesso dal marmo è sempre all'angolo esatto di riflessione che è uguale a quello di incidenza.

In altre parole l'immagine del Sole è riflessa dal marmo a terra in una direzione che forma un angolo con la verticale identico a quella con cui arriva a terra la luce.

E' la legge della riflessione sugli specchi piani. Fondamentale per l'ottica geometrica.

Quante misure faremo.

La posizione dei due bordi del Sole la prenderemo all'incirca ogni 10 minuti.

Compileremo una tabella su foglio A3 che manterremo esposta in chiesa durante tutte le operazioni.

Dei due bordi misureremo le posizioni lungo l'asse maggiore dell'ellissi congiunto con la base del foro stenopeico, rispetto alla linea dell'equatore che materializzeremo con un metro (doppio decametro).

Col teorema di Pitagora potremo conoscere anche l'altezza del Sole sull'orizzonte al momento di ciascuna misura. La distanza tra i due bordi solari ci darà il diametro verticale del Sole, che attorno all'equinozio vale circa 1920 secondi d'arco, cambiando di meno di 1" al giorno.

L'altezza del Sole sull'orizzonte determina la lunghezza dell'asse maggiore e dell'asse minore dell'immagine. Se ricordate quella del Solstizio invernale era lunga 110 cm perché il Sole era a 24.5° sull'orizzonte, piuttosto basso. Adesso col Sole a 45° vale già meno di 40 cm. Ma alle 10:30 il Sole sarà più basso e l'immagine più lunga.

Bisogna fare una proporzione diversa per ogni misura.

In prima approssimazione potremo dire che $1920'' = 32$ primi d'arco è il diametro del Sole che assumiamo costante e così abbiamo da risolvere la proporzione:

32': alla lunghezza dell'asse maggiore=

la distanza angolare del centro del Sole e l'equatore celeste: alla distanza tra il centro del Sole e la linea dell'equatore

Con questa tabella avremo i primi dati sulla velocità del Sole e la posizione del Sole nel cielo al trascorrere del tempo.

La legge di Egnazio Danti ci mette in avviso che il Sole per percorrere il suo intero diametro in declinazione impiegherà circa 32 ore.

Modalità delle misure:

Ogni misura richiede che il metro steso per visualizzare l'equatore sia controllato a vista da 7/8 ragazzi lungo la sua estensione in modo da impedire che qualcuno ci passi sopra e lo sposti o peggio lo rompa.

Altri 7/8 creeranno la camera oscura mobile per migliorare il contrasto della penombra.

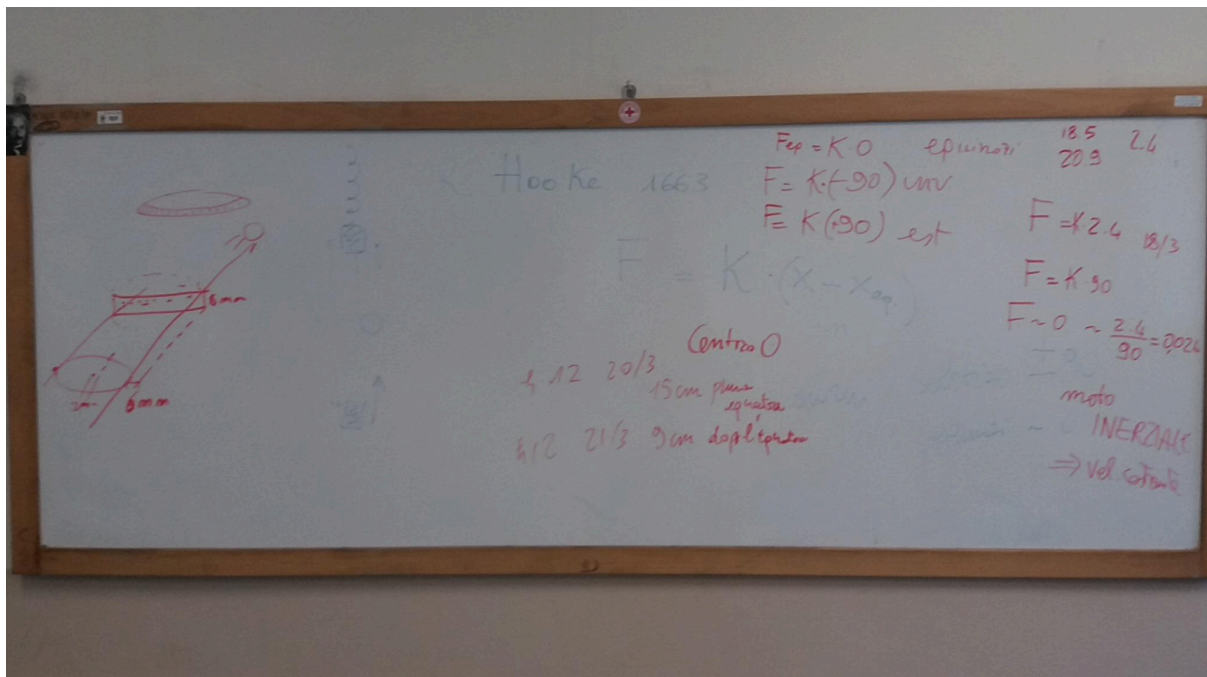
Con i dati delle posizioni dei due bordi solari, i segretari compileranno la tabella che esponiamo al pubblico, e una seconda tabella con le proporzioni risolte per ogni misura.

Ci saranno pure un paio di fotografi incaricati di riprendere ogni misura e le operazioni in corso.

Relazione finale:

insieme alla tabella e alle foto dovrete scrivere delle brevi spiegazioni sul perché su come avrete fatto le misure.

La relazione una per classe me la spedite a prof.sigismondi@gmail.com entro lunedì 25 marzo, corredata di foto e didascalie e nomi dei partecipanti.



A sinistra lo schema del foro stenopeico a destra le equazioni di Hooke sulla forza elastica. Nei 3 giorni attorno all'equinozio la forza di richiamo è inferiore a 3/90 rispetto a quella massima ai solstizi. Nei 3 giorni attorno ai solstizi, con ragionamento analogo possiamo considerare la forza costante (90/90) e quindi trovarci in un moto uniformemente accelerato, il cui grafico dello spostamento (angolare) al passare del tempo è una parabola.