



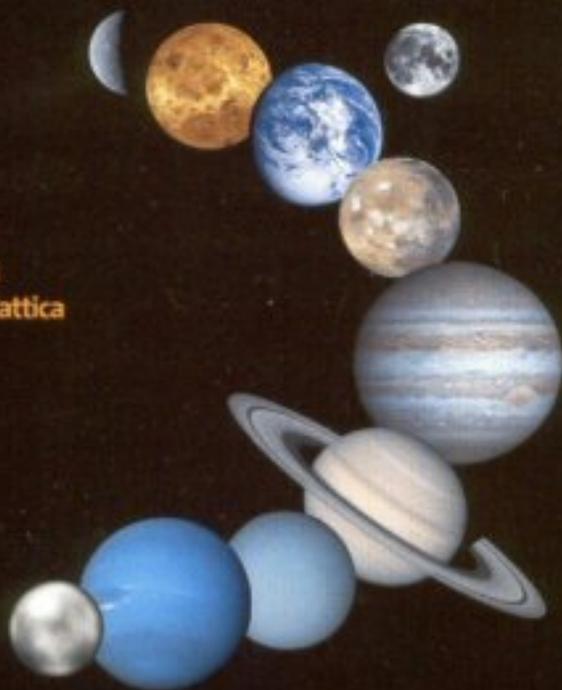
Ministero dell'istruzione, dell'università e della ricerca

Dipartimento dell'istruzione

Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici-Ufficio VI

Astronomia in rete

materiali
per la didattica



Indice

PRESENTAZIONE

PREMESSA

INTRODUZIONE

Osservare gli astri come Tolomeo ragionando come Copernico

PREREQUISITI

- 1P Polo Nord o Sud ed Equatore celesti: due elementi fissi nel cielo di un osservatore**
- 2P Meridiano celeste e meridiano del luogo**
- 3P Coordinate altazimutali: azimut e altezza**
- 4P Coordinate equatoriali: declinazione ed ascensione retta**
- 5P Misure di tempo e misure di angoli di longitudine**

STRUMENTI E SCHEDE OPERATIVE (S)

1S TROVARE LA DIREZIONE N-S O IL MERIDIANO DEL LUOGO

Ombre del sole nel suo apparente moto diurno

Azimut del Sole

- 1 Metodo delle ombre corrispondenti o dei Cerchi indù
- 2 Metodo dell'ombra di uno gnomone con Azimut del Sole noto

1SE UN'ESPERIENZA A ROMA DI INDIVIDUAZIONE DELLA DIREZIONE N-S

2S MISURARE L'ALTEZZA DEL SOLE

Altezza del Sole

Misure dirette e indirette dell'altezza del Sole

Gnomoni per misure dirette e indirette

Il bastone verticale

Lo gnomone di cartoncino

Le due squadrette

Il quarto di goniometro

Strumenti per misure dirette dell'altezza del Sole e degli astri

Il plinto tolemaico con una scatola di CD

Il quadrante mobile

Il quadrante e il sestante di legno

3S COSTRUIRE MERIDIANE DI CARTA

Sole in meridiano

Meridiane di carta

Orientamento

4S MODELLINO DIDATTICO “IL SOLE DI TOLOMEO SUL MONDO COPERNICANO”

Percorsi diurni del Sole sull'orizzonte

Il modellino

Come si usa

SCHEDE DIDATTICHE ED ESEMPI DI MISURAZIONI EFFETTUATE

1SD IL MERIDIANO TERRESTRE NELLA RETE DI ERATOSTENE

Eratostene e il suo metodo

La Rete di Eratostene tra scuole e il suo metodo di lavoro

Una traccia di lavoro in rete

1SDE MISURAZIONE DEL MERIDIANO TERRESTRE DA SCALEA (CS)

2SD **ALTEZZA DEL SOLE E LA LATITUDINE**

Altezza del sole sull'orizzonte nel corso dell'anno

Misurare la latitudine di un luogo con l'altezza del sole

2SDE MISURA DELLA LATITUDINE CON L'ALTEZZA DEL SOLE A LUCERA (FG)

3SD **TEMPO SOLARE E LONGITUDINE**

1 Il tempo del Sole e il tempo degli orologi

Equazione del tempo

Differenza di tempo solare vero e differenza di longitudine

Correzione di longitudine sul tempo medio del fuso

Mezzogiorno solare

2 Misure di differenze di longitudine con l'ora solare

Metodo del transito del Sole al meridiano

Metodo delle meridiane di carta

3SDE.1 DETERMINAZIONE DEL TEMPO VERO LOCALE DAL TEMPO CIVILE A VENEZIA.

3SD2.2 DIFFERENZE DI LONGITUDINE TRA VENEZIA E LEQUIO TANARO (CN)

4SD **MISURE DI LONGITUDINE CON LE LUNE DI GIOVE**

Galileo, i satelliti medicei e la misura della longitudine.

Fenomeni medicei.

Differenze di tempo solare del fenomeno mediceo e differenze di longitudine

1. Misura di longitudine con tempo solare del fenomeno mediceo

2. Misura di differenze di longitudine con tempi solari del fenomeno mediceo

5SD **LA SCALA PER LE STELLE... SPERIMENTAZIONE DEL CALCOLO DELLA PARALLASSE**

La storia dei Sogni

Sulle tracce della parallasse..

... con l'aiuto di fotografie istantanee e del Teorema del coseno.

Parallasse e distanza fra gli osservatori.

Tic,tac...Tic, tac...

Ingrandimenti di foto, che passione!

5SDE LA SCALATA VERSO LE STELLE...CON L'AIUTO DELL'ECLISSE DI LUNA

6SD IL TRANSITO DI VENERE DELL'8 GIUGNO

Un po' di geometria celeste

Transiti dei pianeti interni.

Periodicità dei transiti di Venere

Modalità del transito

Importanza dei transiti di Venere nel passato

Goccia nera e atmosfera venusuiana

Previsioni del transito dell'8 giugno 2004

Transito di Venere 2004 osservato dall'I.T. Nautico "Artiglio" di Viareggio

Calcolo della parallasse solare secondo il metodo di Halley

6SDE.1 MISURAZIONE DELL'U.A. CON IL TRANSITO DI VENERE DAVANTI AL SOLE

6SDE.2 TRANSITO DI VENERE DELL'8/6/2004 DA SILIGO (SS) E REGISTRAZIONE DEI TEMPI PER L'ESO

7SD COLORI, SUONI, ODORI E PERCEZIONI DI UN TERRESTRE SU MARTE

In viaggio su Marte

Suolo di polvere rossa, cielo salmone e tramonti azzurri.

Suoni e odori.

Assenza di Ossigeno nell'aria ma rocce che lo producono

Aria che spegne i fuochi

Pressione dell'aria

Temperatura ed ebollizione dell'acqua

Raggi ultravioletti

Stelle per orientarsi

Gravità

Giocare con la gravità e una palla ...

...o gli aeroplanini di carta

Montagne, nuvole e ghiaccio

Forma dei cristalli di ghiaccio secco riprodotti in laboratorio.

Alone intorno al Sole

Appendice

 **1A**
ANNO

TABELLA DELL'EQUAZIONE DEL TEMPO E DELLA DECLINAZIONE DEL SOLE IN UN

2A **INDIRIZZI UTILI DI PAGINE WEB DEDICATE ALL'ASTRONOMIA**

3A **MODELLINO DIDATTICO "IL SOLE DI TOLOMEO SUL MONDO COPERNICANO"**

Base e lucido

QUESTA PUBBLICAZIONE raccoglie il materiale prodotto in occasione delle Settimane dell'Astronomia: "Gli studenti fanno vedere le stelle", che dal 2000 vengono annualmente promosse dalla Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, con il supporto e il pieno coinvolgimento di Enti ed Associazioni del settore e sono giunte, nell'anno 2005, alla sesta edizione, permeate da un entusiasmo e uno spessore sempre crescente.

Questo appuntamento, in sintonia con le Settimane della Cultura scientifica, rappresenta una occasione inesauroibile di iniziative ed attività didattiche per la diffusione di conoscenze sempre più specifiche nel settore scientifico-astronomico, favorendo una maggiore attenzione al ruolo importante che la scienza svolge nella vita di tutti.

In particolare, per l'anno in corso, la sesta edizione della Settimana rientra nell'Evento corrispondente all'anno mondiale della Fisica e, ancor più motivato da questa circostanza, un numero sempre crescente di docenti si impegna, come e più che nelle passate edizioni, ad offrire nuove opportunità formative e didattiche curricolari ai propri studenti, motivandoli alla conoscenza delle nuove frontiere della ricerca astronomica, importanti anche per un futuro orientamento professionale.

Negli anni precedenti la Settimana dell'Astronomia è stata impostata con la finalità di potenziare, attra-verso la produzione di materiali didattici per gli insegnanti e per gli studenti, la qualità dell'offerta formativa delle scuole, fornendo contemporaneamente strumenti validi per la didattica e per l'approfondimento di tematiche astronomiche e interdisciplinari.

È auspicabile che il libro: "Astronomia in rete: materiali per la didattica" sia il primo di una serie di pubblicazioni atte a suscitare un interesse sempre crescente nei giovani e nella loro naturale predisposizione alla scoperta di sempre nuovi orizzonti. Non è così importante presentare prodotti già finiti, quanto, vicever-sa, mostrarne la realizzazione attraverso esempi, percorsi in itinere. Rappresentare cioè l'idea iniziale, lo sco-po, la costruzione e l'utilità.

In tal senso questa prima pubblicazione assume una valenza significativa di novità e rientra pienamente nel processo di riforma della scuola avviata con la Legge n. 53 del 28 marzo 2003, anche in coerenza con le indicazioni adottate in sede di Unione Europea per il potenziamento delle competenze scientifiche.

Il titolo scelto per la VI Settimana dell'Astronomia, **"Il processo di una scoperta scientifica è, in effetti, un continuo conflitto di meraviglie"** (Albert Einstein), ben documenta l'opportunità di tali iniziative.

On.le Valentina Aprea
Sottosegretario di Stato

LA PRESENTE PUBBLICAZIONE si pone l'ambizioso obiettivo di fornire alle scuole una prima, sia pur limitata, "vetrina" dei preziosi materiali per la didattica, via via prodotti e raccolti, in occasione delle **Settimane dell'Astronomia "Gli studenti fanno vedere le stelle"**, che dal 2000 vengono annualmente promosse dalla *Direzione Generale per gli Ordinamenti Scolastici* del **Ministero per l'Istruzione, l'Università e la Ricerca Scientifica**, con il supporto e il coinvolgimento pieno di Enti ed Associazioni del settore. Nel 2004 sono giunte alla V edizione, con entusiasmo e spessore sempre crescente; nel corrente anno si terrà dall'11 al 17 aprile 2005 la VI edizione, che sarà uno dei gioielli dell'Anno Mondiale della Fisica.

Questo appuntamento primaverile è ormai per le scuole di ogni ordine una costante irrinunciabile, in sintonia con le Settimane della Cultura scientifica: essa rappresenta una occasione inesauribile di iniziative ed attività didattiche per la diffusione di conoscenze del settore scientifico-astronomico e favorisce la promozione di una maggiore attenzione al ruolo importante che la scienza svolge nella vita di tutti.

In particolare con le Settimane dell'astronomia "Gli studenti fanno vedere le stelle" un numero sempre crescente di docenti si impegna ad offrire nuove opportunità formative e didattiche curricolari ai propri studenti, per motivarli alla conoscenza delle nuove frontiere della ricerca astronomica, importanti anche per l'orientamento professionale. In questi ultimi anni la promozione delle Settimane dell'astronomia è stata impostata con una maggiore attenzione alla produzione di materiali didattici per gli insegnanti e per gli studenti con la finalità di potenziare la qualità dell'offerta formativa delle scuole e di fornire strumenti validi per la didattica e l'approfondimento di tematiche astronomiche e interdisciplinari.

In questa ottica è stato prodotto nel luglio 2002 dalla Direzione Generale per gli ordinamenti Scolastici del Ministero per l'Istruzione il cd "Gli studenti fanno vedere le stelle", che raccoglie materiali per la didattica prodotti da docenti e studenti per gli altri studenti e docenti.

Con la *presente pubblicazione* Astronomia in rete: materiali per la didattica si vuole fare dunque un ulteriore passo avanti, ipotizzando questa come la prima di una serie di pubblicazioni in grado di fornire strumenti e schede didattiche da considerare quali materiali flessibili ed adattabili, mai modelli preconfezionati e rigidi da prendere "in toto" e con la finalità di offrire l'opportunità ai docenti di strutturare percorsi didattici propri, da adattare sempre al livello di scolarità e preparazione dei propri studenti e del curriculum di studi.

In tal senso la presente pubblicazione assume una valenza molto significativa in vista dei processi di riforma della scuola da realizzare in applicazione della legge n.53 del 28 marzo 2003, che vede proprio la Direzione generale per gli Ordinamenti scolastici impegnata in prima linea.

I materiali qui presentati sono stati già sperimentati nell'ambito della Rete di Eratostene dalla rete di scuole che da vari anni lavora con l'utilizzo collaborativo delle nuove frontiere multimediali per la didattica interdisciplinare dell'astronomia, con risultati di grande interesse sia nella ricaduta didattica che nell'uso innovativo delle nuove tecnologie.

Per questo si vogliono offrire a tutte le scuole questi materiali, sicuri che saranno in ogni caso di ausilio e di stimolo, nella certezza che verranno accolti con lo stesso entusiasmo ed interesse con cui a suo tempo è stato gradito il cd "Gli studenti fanno vedere le stelle", le cui copie purtroppo sono attualmente esaurite, mentre il contenuto è sempre consultabile in rete sul sito dell'I.T.N. "Artiglio" di Viareggio.

L'auspicio è dunque quello di offrire **"un piccolo microcosmo... che contiene forti elementi spendibili... nel macrocosmo!"**

Elisabetta Davoli

Dirigente MIUR

Responsabile dell'Area Autonomia Scolastica - DGOS

OSSERVARE GLI ASTRY COME TOLOMEO RAGIONANDO COME COPERNICO

Le settimane dell'astronomia "Gli studenti fanno vedere le stelle", promosse dal Miur, hanno fatto emergere il grande interesse per l'Astronomia presente nelle scuole italiane attraverso la ricchezza di iniziative ed esperienze didattiche portate avanti da docenti e studenti.

Il cd **"Gli studenti fanno vedere le stelle"**, edito dal Miur nel 2002 e realizzato prevalentemente con materiali prodotti dalle scuole, è una testimonianza che l'Astronomia non è una disciplina "astrusa" e "per addetti ai lavori" ma può trovare spazio nelle attività curricolari di tutti gli ordini di scuola e indirizzi con interessanti approcci interdisciplinari.

Molti dei materiali ivi pubblicati erano stati prodotti nell'ambito della Rete di Eratostene, una rete di oltre 100 scuole promossa dal Miur e attiva dalla II Settimana dell'Astronomia del 2001. L'idea di utilizzare il metodo di Eratostene per misurare il Meridiano terrestre, utilizzando la velocità di comunicazione di Internet, è stata l'apripista di una interessante sperimentazione didattica in Rete che ha permesso a docenti di tutta Italia di comunicare in tempo quasi reale per prendere appuntamenti, scambiarsi informazioni, comunicare date e risultati delle misurazioni.

Il *coordinamento scientifico* della Rete è stato curato dal moderatore, il prof. Nicola Scarpel della S.M. "Pisani" di Venezia-Lido che ne ha pazientemente tessuto i fili, dalla sottoscritta, nell'ambito del coordinamento delle Settimane dell'Astronomia, per il Miur e dal prof. Beppe Rolfo dell' I.C. di Lequio Tanaro (CN). Tutte le attività proposte sono state sempre sostenute e incoraggiate dall'entusiasmo con cui i docenti della Rete le sperimentavano con gli studenti, correggendone il tiro o ampliandole a nuove tematiche con una fattiva collaborazione.

Il sito della Rete di Eratostene nel corso di questi anni è stato un *work in progress* che si è arricchito di proposte, schede didattiche, moduli di calcolo *on line*, per attività didattiche in rete e non solo, cosicché i docenti delle scuole interessate hanno potuto partecipare alle attività, scegliendo autonomamente il grado di complessità con cui operare. L'utilizzo di Internet per fini pratici e immediati ha avuto il merito di abbattere le distanze geografiche, facendo sentire vicini studenti di ogni parte d'Italia, e si è esteso anche all'estero.

Sperimentare una didattica dell'Astronomia nuova e coinvolgente, anche con l'uso di materiali semplici e *autocostruiti*, ha affascinato molto gli studenti, motivandoli fortemente allo studio di questa disciplina, che sicuramente merita una maggiore attenzione nell'ambito dei programmi curricolari della Scuola Inferiore e Superiore.

Inoltre numerose scuole hanno fatto conoscere e condiviso con l'ampia comunità della Rete le loro attività e i loro molteplici e interessantissimi siti web dedicati all'Astronomia. Merita una particolare attenzione il sito web dell'Istituto Nautico "Artiglio" di Viareggio, curato dal prof. Franco Martinelli. Al suo interno un aggiornato *Almanacco Astronomico mensile*, corredato da dati e schede di approfondimento e, a supporto alle Settimane dell'Astronomia del Miur, il catalogo delle iniziative e degli orologi solari realizzati dalle scuole nonché il cd "Gli studenti fanno vedere le stelle".

Dall'esperienza della Rete di Eratostene e delle Settimane dell'Astronomia, nonché dal consenso con cui è stato accolto dalle scuole il cd "Gli studenti fanno vedere le stelle", è nata l'idea di pubblicare questo libro; i materiali sono stati selezionati e riscritti a partire da quelli proposti per le attività della Rete di Eratostene, con i risultati sperimentali delle stesse elaborati da docenti e studenti, per fornire alle scuole, un nuovo e agile strumento didattico, con proposte flessibili e utilizzabili a diversi gradi di complessità e di livello di studi. Non è un trattato di Astronomia, ma sono state costruite delle *tracce di lavoro* che, utilizzando *il cielo come laboratorio didattico* alla portata di tutti, valorizzano le opportunità didattiche delle *osservazioni dirette del Sole e dei Pianeti* e propongono attività da svolgere con altre scuole nell'ambito della Rete di Eratostene, in particolare in occasione della VI Settimana dell'Astronomia del 2005; esse potranno essere utilizzate, con la stessa validità, anche nella didattica

classica.

L'obiettivo è quello di costruire un piccolo aratro che continui a tracciare il solco della ricerca metodologica e culturale che parte dall'osservazione del moto del sole e degli astri con i piedi per terra, *come Tolomeo*, nella consapevolezza scientifica che la terra non è ferma e non è il centro dell'Universo, *come Copernico*, per avvicinarsi, con il supporto delle moderne tecnologie, alle nuove frontiere della conoscenza astronomica aperte dalle esplorazioni spaziali.

Il libro è strutturato per sezioni; le prime due sono di preparazione e corredo a quella successiva delle Schede didattiche.

Nella prima, Prerequisiti (P), si illustrano le principali coordinate e i riferimenti astronomici del cielo di un osservatore; nella seconda, Strumenti (S), si propongono alcuni metodi per la individuazione del Meridiano del luogo e per le misurazioni dell'altezza del Sole e degli astri, con l'illustrazione di strumenti facilmente riproducibili, dai più semplici gnomoni e Orologi solari, come le Meridiane di carta, ai più sofisticati Plinti, Quadranti e Sestanti.

A completamento è accluso il Modellino didattico "Il Sole di Tolomeo sul mondo copernicano", da assemblare facilmente per visualizzare il percorso del Sole sull'orizzonte nelle varie stagioni e alle varie latitudini degli emisferi boreale e australe del mondo.

Nella sezione centrale, Schede Didattiche (SD), si affrontano diverse tematiche, dalle consolidate misure in Rete del Meridiano terrestre col metodo di Eratostene alle misure di latitudine con l'altezza del Sole e di longitudine con il Sole o le lune di Giove, dalle misure di distanze astronomiche con il transito di Venere sul Sole dell'8 giugno 2004 alle misure di parallasse della Luna con la fotografia astronomica.

Tutte le Schede Didattiche hanno una breve introduzione teorica e sono corredate da esperienze effettuate (SDE), a diversi gradi di complessità, da scuole di varie parti d'Italia, nell'ambito della Rete di Eratostene.

La presenza in Italia di Paul Doherty dell'Exploratorium di S.Francisco per la V Settimana dell'Astronomia del 2004 ha fornito l'opportunità di ricostruire la sua proposta didattica di sperimentazione delle percezioni sensoriali di un terrestre in viaggio su Marte attraverso semplici attività scientifiche.

In Appendice si forniscono valori indicativi della *Tabella dell'Equazione del tempo e della declinazione del Sole* e alcuni *Indirizzi utili di pagine web dedicate all'Astronomia*.

In tutto il libro, dove necessario, si trovano riferimenti a pagine web della Rete di Eratostene utili per approfondire i temi proposti.

Gli Autori dei vari articoli hanno collaborato tutti alla realizzazione delle proposte didattiche della Rete di Eratostene; sono docenti di discipline scientifiche di diverse scuole e località italiane, tranne uno, Fabio Pacucci, uno studente di 16 anni, appassionato autodidatta di Astronomia, che, precorrendo i tempi della sua formazione, si cimenta con perizia in misure di distanze astronomiche tramite la fotografia astronomica.

L'auspicio è che questo libro sia *per i docenti* un utile strumento per il loro lavoro didattico, culturale ed educativo e sia *per gli studenti* uno stimolo alla scoperta del fascino antico come l'uomo, del cielo e dei suoi astri, che li accompagni alla ricerca di nuovi mondi e interessi in cui essere attivi protagonisti di indagini concrete e di un uso intelligente e creativo delle moderne tecnologie telematiche, imparando a districarsi nell'approccio interdisciplinare, proprio dell'Astronomia.

Acquisire nuovi strumenti di conoscenza, per i giovani, può essere importante per scoprire le innumerevoli opportunità che l'Astronomia e l'area scientifica nel suo insieme offrono nella scelta di percorsi di studio e di lavoro futuri.

Lucia Corbo
Coordinamento Settimane dell'Astronomia Miur

1P Polo Nord o Polo Sud ed Equatore celesti: due elementi fissi nel cielo di un osservatore

Nel cielo di un osservatore dell'emisfero boreale (o australe), vi sono due riferimenti fissi che aiutano ad orientarsi, il Polo Nord (o Sud) celeste e l'Equatore celeste.

Nell'emisfero boreale il **Polo nord celeste** è individuato dalla Stella Polare che ha un'altezza sull'orizzonte sempre uguale alla latitudine del luogo. La congiungente *osservatore-Stella polare* indica la direzione dell'*asse terrestre* in quel luogo.

Il piano perpendicolare all'asse terrestre, passante per il centro della Terra, individua sulla sfera terrestre l'Equatore; la sua intersezione con la sfera celeste individua **l'Equatore celeste**. Questo piano immaginario interseca il piano dell'orizzonte lungo la linea Est-Ovest ed ha a Sud la sua massima altezza sull'orizzonte, che corrisponde alla colatitudine del luogo ($90^\circ - \text{latitudine}$) (fig.1).

Cambiando il polo di riferimento, da PNC a Polo Sud celeste, nell'emisfero australe vale lo stesso ragionamento. Il **Polo Sud celeste** non ha una stella di riferimento e lo si individua con l'aiuto della Croce del Sud; esso è alto a Sud quanto la latitudine del luogo. L'Equatore celeste interseca il piano dell'orizzonte sempre lungo la linea E-W ed ha a Nord la sua massima altezza sull'orizzonte, coincidente con la colatitudine del luogo.

Sulla Terra questi riferimenti non sono validi solo ai Poli, dove i rispettivi poli celesti sono allo Zenit e l'Equatore celeste coincide col piano dell'orizzonte.

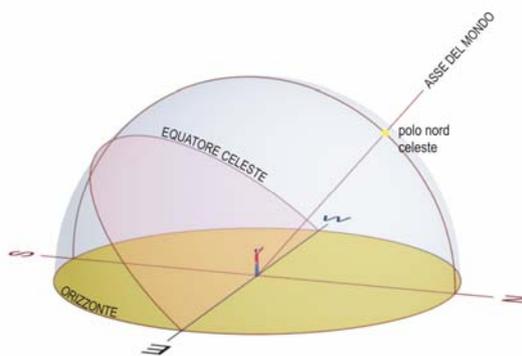


fig.1 Gli elementi fissi del cielo di un osservatore collocato in una località a media latitudine dell'emisfero boreale (N.Scarpel)

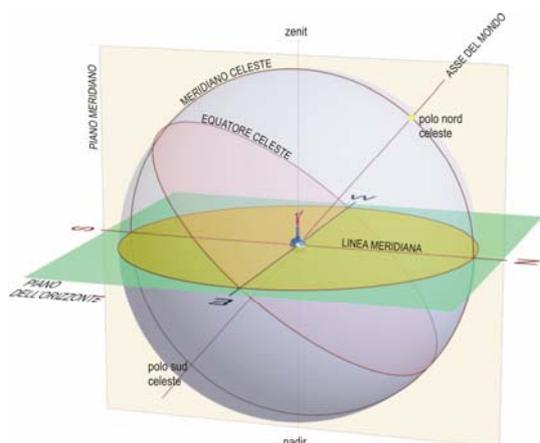


fig.2 Il meridiano celeste e gli altri elementi di riferimento della sfera celeste (N.Scarpel)

2P Il meridiano celeste e il meridiano del luogo

Il *meridiano celeste* o *meridiano dell'osservatore*, è il cerchio massimo sulla sfera celeste che passa per il Polo Nord e il Polo Sud celesti, lo Zenit e il Nadir dell'osservatore.

Il piano del meridiano celeste taglia il piano dell'orizzonte secondo una linea retta che individua sull'orizzonte il Nord e il Sud e che viene indicata come *meridiano dell'osservatore* o *meridiano del luogo* o *linea meridiana* (fig.2).

PREREQUISITI

3P Coordinate altazimutali: azimut e altezza

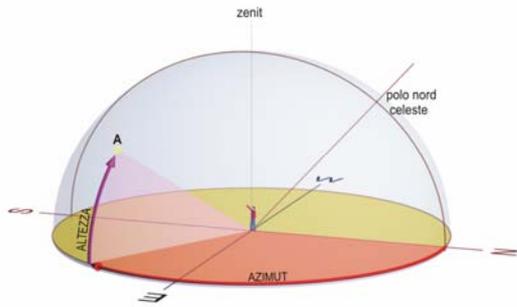


fig.3 Azimut e altezza di una stella A rispetto al piano dell'orizzonte di un osservatore (N.Scarpel)

Il sistema di coordinate celesti riferite ad un osservatore sono **l'azimut e l'altezza**.

Il *piano di riferimento* è quello dell'*orizzonte*, l'*asse* è quello ad esso perpendicolare che passa per l'osservatore e incrocia la Sfera celeste in due punti: lo **Zenit**, verso l'alto, e il **Nadir**, verso il basso.

Si chiama *verticale di un astro* il cerchio della Sfera celeste che passa per l'astro considerato e lo Zenit e il Nadir.

L'**azimut** di un astro è l'arco di orizzonte, o angolo, compreso tra il punto cardinale Nord e il piede della verticale dell'astro. Esso si misura in senso orario da Nord, e va da 0° a 360° (fig.3). Va tenuto presente che spesso l'Azimut viene misurato partendo dal punto cardinale Sud, sempre in senso orario.

L'**altezza** di un astro è la distanza sferica dell'astro dall'orizzonte e si misura lungo la *verticale dell'astro* stesso, da 0° a 90° , a partire dall'orizzonte verso lo Zenit.

4P Coordinate equatoriali: declinazione e ascensione retta

Il sistema di coordinate celesti equatoriali degli astri sono la **declinazione** e la **ascensione retta**.

L'*asse riferimento* è il prolungamento dell'Asse terrestre che incrocia la Sfera celeste in due

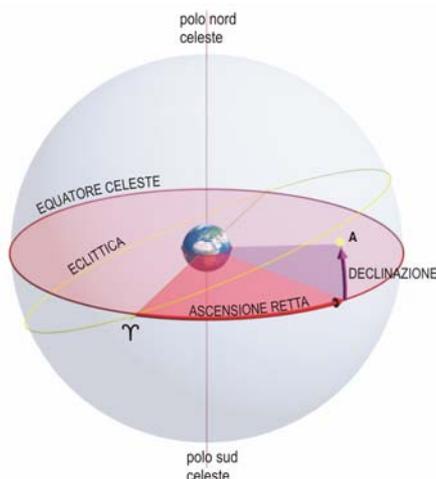


fig.4 Coordinate equatoriali di **ascensione retta** e **declinazione** della stella A (N.Scarpel)

punti: il Polo Nord celeste e il Polo Sud celeste; il piano di riferimento è quello dell'*Equatore celeste*, intersezione tra piano dell'Equatore terrestre e Sfera celeste

I cerchi passanti per i due Poli celesti sono detti **meridiani celesti**; il meridiano 0° è quello che passa per il punto Υ o punto di Ariete, collocato all'intersezione tra Eclittica ed Equatore celeste dove si trova il Sole all'Equinozio di primavera.

La **declinazione** (δ) di un astro è la distanza sferica dell'astro dall'Equatore celeste, misurata lungo il suo meridiano celeste; essa va da 0° a 90° ed ha valore positivo + per gli astri collocati nell'emisfero Nord celeste e negativo - per quelli collocati nell'emisfero Sud (fig.4).

L'**ascensione retta** (AR) è l'arco di Equatore celeste compreso fra il punto Υ , dove passa il meridiano fondamentale, e il piede del meridiano passante per l'astro. Si misura in senso antiorario dal punto Υ in ore da 0h a 24h, corrispondenti a 360° (tab.1).

PREREQUISITI

L'Eclittica, l'intersezione del piano dell'orbita terrestre con la sfera celeste, e l'Equatore celeste si intersecano secondo un angolo di $23^{\circ} 27'$; per questo il Sole, nel suo moto annuo apparente lungo l'Eclittica, modifica gradualmente e regolarmente la sua declinazione passando da un minimo valore negativo di $-23^{\circ} 27'$ al *Solstizio d'inverno*, ad un massimo di $+23^{\circ} 27'$ al *Solstizio d'estate*; agli *Equinozi* ha *declinazione* 0° e si trova quindi sull'Equatore celeste, precisamente nel punto vernale o punto γ all'Equinozio di primavera e nel punto della Bilancia o punto ω all'Equinozio d'autunno.

5P Misure di tempo e misure di angoli di longitudine

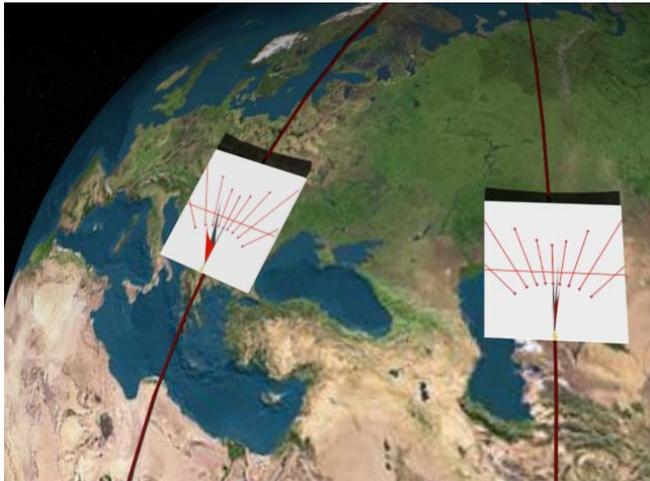


fig.5 Differenze di tempo solare in località di differente longitudine (N.Scarpel)

La Terra compie, nel moto di rotazione intorno al suo asse, un giro di 360° , in 24 ore di tempo medio. Per questo, sulla sua superficie sono individuati 360 meridiani, da Polo Nord a Polo Sud, per ogni grado di longitudine; essi sono stati raggruppati in 24 fusi orari, ognuno contenente 15 meridiani distanti 1° l'uno dall'altro.

Il Sole impiega mediamente *un'ora* per spostarsi dal primo all'ultimo meridiano di uno stesso fuso, che corrisponde al tempo che la Terra impiega per percorrere 15° di rotazione intorno al suo asse. Nell'arco di un giorno il Sole sembra spostarsi da Est ad Ovest di fronte a tutti i 360 meridiani in cui è stata suddivisa la superficie terrestre (fig.5).

E' questo il motivo per cui sono strettamente correlate le misure degli angoli di longitudine con le misure di tempo, scadenzate in ore.

La conversione di misure angolari di longitudine in misure di tempo e viceversa si ottiene tenendo conto che un angolo giro (360°) corrisponde ad un intervallo di 24 ore di tempo medio.

In un giorno ci sono $24^h \cdot 60^m = 1440^m$; 360° di longitudine equivalgono a $360^{\circ} \cdot 60' = 21600'$. Un punto sulla superficie terrestre percorre una rotazione completa di 360° in 1440^m e quindi ogni minuto percorre $21600' : 1440^m = 15'$ di longitudine e in ogni secondo di tempo $15''$ di longitudine.

In **tabella 1** sono indicate le principali conversioni di misure di tempo in angoli di longitudine e viceversa.

Unità di tempo	1h	4min	1min	1s	Unità di angolo	1°	1'	1''
Angolo corrispondente	15°	1°	15'	15''	Tempo corrispondente	4min	4s	1/15 di s

tab.1. Conversioni di misure di tempo in angoli di longitudine e viceversa

15 TROVARE LA DIREZIONE N-S O IL MERIDIANO DEL LUOGO

Ombre del sole nel suo apparente moto diurno

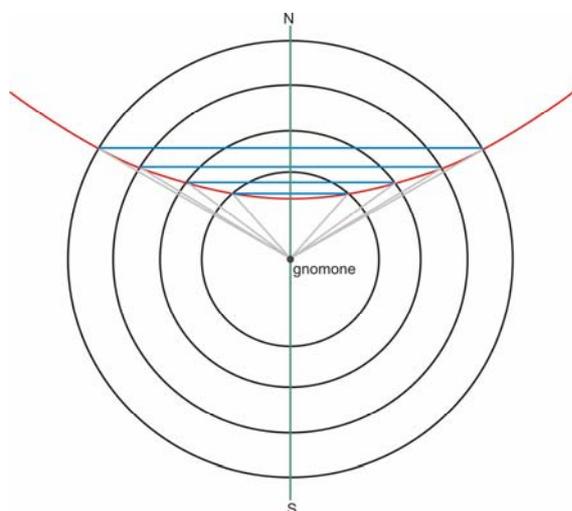


fig.1 L'estremità dell'ombra dello gnomone percorre nell'arco di un giorno una curva simmetrica. E' disegnata in rosso la curva delle ombre di una giornata invernale nel nostro emisfero. (N.Scarpel)

latitudini è generalmente un ramo di iperbole, con la sua massima concavità verso Sud al solstizio estivo (declinazione $+23^{\circ} 27'$) e la sua massima concavità verso Nord al solstizio invernale (declinazione $-23^{\circ} 27'$); da un solstizio all'altro passa per la situazione in cui la curva degenera in una retta, esattamente nei giorni degli equinozi (declinazione 0°) (fig.2).

La curva di intersezione rappresenta il percorso diurno dell'estremità dell'ombra di un gnomone. L'asse di simmetria della curva è la *linea meridiana o meridiano del luogo*.

Tracciare tale meridiano sulla pavimentazione del cortile, o giardino, o terrazzo della scuola può servire come orologio solare per definire il mezzogiorno vero del luogo di un giorno qualsiasi: infatti basta tendere un filo a piombo e aspettare il momento in cui l'ombra del filo si sovrappone alla linea.

I metodi per individuare il meridiano sono tanti e qui di seguito se ne indicano due, il *Metodo delle ombre corrispondenti o Cerchi indu* e il *Metodo dell'ombra di un gnomone con Azimut del Sole noto*.

Il primo è più operativo e semplice, il secondo ha un maggiore grado di complessità.

Il Sole nel suo moto apparente diurno incrocia il **meridiano celeste** del luogo dell'osservatore nel momento della sua massima **altezza** sull'orizzonte¹, indicato come **mezzogiorno solare vero**; in quell'attimo l'ombra di uno stilo verticale si proietta sul piano orizzontale lungo la **linea meridiana o meridiano del luogo, da Sud a Nord**, e raggiunge la sua lunghezza minima (fig.1).

Nel corso del dì il Sole percorre nel cielo un arco che il piano meridiano divide in due parti simmetriche.

L'ombra di un gnomone su una superficie orizzontale segue due movimenti simmetrici rispetto alla linea meridiana, uno mattutino e uno pomeridiano.

La retta immaginaria che congiunge il Sole, la punta dello gnomone e l'estremità dell'ombra proiettata descrive, nell'arco di un dì, una superficie conica.

L'intersezione tra questa superficie conica e il piano orizzontale è una curva che alle nostre

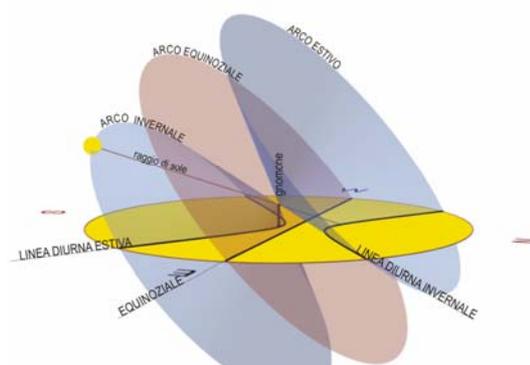


fig.2 Il raggio solare che incrocia lo gnomone genera, nel suo percorso diurno, una superficie conica. Se il Sole ha declinazione zero la superficie diventa piana e l'intersezione è una retta, la linea Est-Ovest. (N.Scarpel)

¹Vedi Prerequisiti 2P

Strumenti con schede operative

Azimut del Sole

In un qualsiasi momento di una giornata soleggiata, l'ombra proiettata sul piano orizzontale da un bastone verticale o da un filo a piombo, forma con la direzione della linea Nord-Sud, *a partire da Nord in senso orario*, un angolo pari all'**azimut** del Sole sull'orizzonte².

Per ricavare l'Azimut del Sole senza formule matematiche si può utilizzare un qualsiasi software di astronomia di simulazione del cielo, facendo attenzione all'evenienza che l'Azimut del software usato sia indicato a partire da Sud, nel qual caso vanno apportate le giuste correzioni di angoli.

Oppure si possono utilizzare le formule di seguito indicate, ma serve sapere prima la declinazione e l'angolo orario del sole nel momento della misura, nonché la **latitudine** del luogo.

La **declinazione** del Sole si ricava dagli Almanacchi astronomici o dalla tabella pubblicata in Appendice 1A.

L'**angolo orario** va calcolato in base all'ora del giorno, considerando che il Sole medio apparentemente si sposta di un angolo di 15° all'ora, da Est a Ovest, a partire dal mezzogiorno solare (Tab.1).

Ora	h 6	h 7	h 8	h 9	h10	h11	h 12	h 13	h 14	h 15	h 16	h 17	h 18
Angolo orario	-90°	-75	-60°	-45°	-30°	-15°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°

tab. 1 Valori dell'angolo orario del Sole a varie ore del dì.

La **latitudine** di un luogo, se non è nota, si può ricavare con le attività proposte nella Scheda didattica 2S.

Si passa quindi ad applicare la seguente formula per ricavare **l'altezza del Sole**:

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega$$

ponendo h = altezza del sole

δ = declinazione del sole

ω = angolo orario del sole

φ = latitudine del luogo

Az = azimut del Sole

Dopo si ricava l'**azimut** con la formula

$$\cos Az = \frac{\cos \delta \sin \varphi \cos \omega - \sin \delta \cos \varphi}{\cos h}$$

tenendo presente che essa dà il valore a partire da Sud; per riportare il valore dell'azimut a quello definito a partire da Nord, vanno apportate le opportune integrazioni a seconda che il quadrante in cui si trova il Sole è quello orientale o quello occidentale.

1 Metodo delle ombre corrispondenti o dei Cerchi Indù

E' un procedimento tradizionale e "autosufficiente" nel senso che non richiede nessuna informazione "esterna". Gli strumenti necessari sono semplici: un bastone, una cordicella e un gesso.

Trovare una superficie orizzontale su cui posizionare un bastone perfettamente verticale e stabile, lo "gnomone".

Per superfici piccole come ad esempio un davanzale di finestra, si può utilizzare una tavoletta di legno con un chiodo piantato oppure un triangolo di cartoncino con un bordo verticale.

L'operazione si effettua in ore a cavallo del mezzogiorno.

² vedi Prerequisiti 3P

Strumenti con schede operative

Si tracciano varie circonferenze concentriche attorno alla base dello gnomone e nel corso della mattina si segnano i punti in cui l'estremità dell'ombra dello gnomone cade precisamente su alcune di esse (fig.3).

Nel corso del pomeriggio si ripete la stessa operazione e si tracciano i punti in cui l'estremità dell'ombra dello gnomone cade sugli stessi cerchi segnati al mattino, ovviamente dalla parte opposta: infatti al mattino le ombre vanno verso occidente e al pomeriggio verso oriente (fig.4).

Congiungendo le coppie di punti che si trovano sulla stessa circonferenza, si ottengono delle corde che devono risultare parallele tra loro (fig.5).

I punti medi di tali corde sono allineate tra loro e con la base dello gnomone, e segnano la direzione del **meridiano del luogo**.

Teoricamente basterebbe una sola circonferenza e una sola corda, ma con più letture si può controllare l'allineamento dei punti medi fra loro e il risultato finale è più preciso.

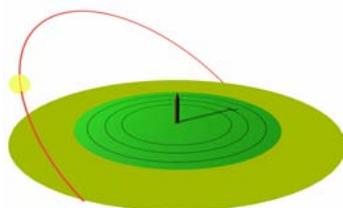


fig.3 Ombra del mattino

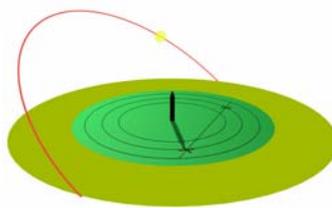


fig.4 Ombra del pomeriggio

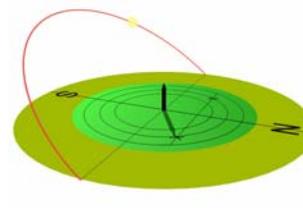


fig.5 Individuazione del meridiano
(N.Scarpel)

2 Metodo dell'ombra di uno gnomone con azimut del Sole noto

Se si conosce il dato dell'**azimut** del Sole, in un preciso istante e località, si può ricavare la **direzione Nord-Sud** utilizzando la linea d'ombra proiettata da un filo a piombo.

Sono necessari un filo a piombo, un gesso, un goniometro e un orologio.

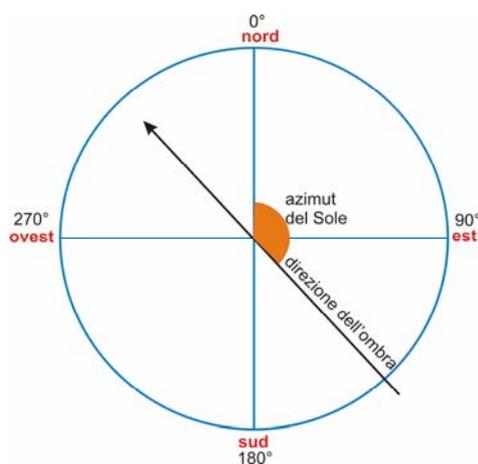


fig.6 La direzione dell'ombra di un filo a piombo forma con la linea Nord-Sud un angolo pari all'azimut del Sole (N.Scarpel)

Dopo aver individuato il metodo per calcolare l'angolo di **azimut** del Sole per una data località, con un software di astronomia o con i calcoli indicati sopra, si registrano più *dati a intervalli di 10/15 minuti*.

Nell'ora e data prescelta si traccia sul pavimento l'ombra proiettata da un filo a piombo.

Si pone a terra il goniometro, allineando sulla linea dell'ombra il suo centro e, in direzione del Sole, l'indicazione dei gradi corrispondenti all'Azimut (fig.6-8).

Con il goniometro orientato correttamente, la linea dei gradi da 0° a 180° indica la direzione Nord-Sud e la linea dei gradi da 90° a 270° quella Est-Ovest.

Una volta individuata la linea N-S o *meridiano del luogo* si può verificare, al mezzogiorno solare, se la procedura è stata corretta: si colloca sulla linea N-S individuata uno gnomone verticale, o si tende un filo a piombo, e si verifica, in quel momento, se l'ombra si proietta esattamente lungo la linea tracciata.

ISE Un'esperienza a Roma di individuazione della direzione N-S

Nell'ambito di un progetto didattico sull'orizzonte di Roma, una classe del Liceo "Russell" insieme ad una classe del Liceo Visconti di Roma, guidate dalle insegnanti, hanno individuato il Meridiano sul piano di un pilastrino posto sopra la terrazza del vecchio **Osservatorio Astronomico del Collegio Romano**. L'Osservatorio fu fatto costruire al posto della cupola della Chiesa di S. Ignazio da Padre Angelo Secchi (1818-1878), che lo diresse dal 1850 fino alla sua morte.

Utilizzando il software Skymap, si sono inseriti i dati di longitudine e latitudine di Roma e, nell'ora e data prescelta, *cliccando* col tasto destro del mouse sul Sole, si sono trovati i dati del suo azimut e alcuni di quelli successivi, a intervalli di un quarto d'ora.

Il 23/9/1998 l'azimut del Sole, alle 10^h 20^m, risultava essere di 144° 23'. All'ora prescelta si è disposto un filo a piombo, utilizzando come sostegno di fortuna una riga, e si è disegnata la linea d'ombra. (fig.7).

Si è orientato quindi il goniometro sulla linea d'ombra, avendo cura di allineare su di essa il centro del goniometro e la tacca corrispondente all'angolo di Azimut, 144° 23, in direzione del Sole (fig.8).

La linea del goniometro da 0° a 180° rappresentava il Meridiano, con il Nord in corrispondenza dello 0° e il Sud in corrispondenza di 180°.



fig.9 Il meridiano individuato con, a Nord, la colonna di Marco Aurelio; sotto il pilastrino si intravede la terrazza circolare dell'Osservatorio astronomico di Padre Secchi e al centro il basamento in pietra del cannocchiale (L.Corbo)

Scuola : Liceo "Russell" di Roma
Liceo "Visconti" di Roma
Luogo: Osservatorio Astronomico di Padre Secchi sopra la Chiesa S. Ignazio -Roma
Docente referente: prof.ssa Lucia Corbo
prof.ssa Luciana Bartolini



fig.7 Traccia dell'ombra di un filo a piombo sopra un pilastrino della Chiesa S. Ignazio - Roma (L.Corbo)



fig. 8 Orientamento del goniometro sulla linea d'ombra (L.Corbo)

Dal punto di vista, molto speciale, su Roma in cui si è operato, nella direzione Nord si è osservato la Colonna di Marco Aurelio e verso Sud la Cupola della Chiesa del Gesù (fig.9).

A mezzogiorno solare si è verificata la correttezza della individuazione della linea N-S: l'ombra del filo a piombo coincideva con la direzione N-S individuata.

Altezza del sole

L'altezza¹ del Sole (angolo α) si può misurare con buona precisione anche con strumenti molto semplici.

Tutti i metodi proposti di seguito si basano sulla proiezione dell'ombra di uno stilo verticale (o gnomone) sul piano orizzontale, da cui si individua un triangolo rettangolo ABC, dove AC rappresenta la proiezione di un raggio solare, l'angolo α corrisponde all'altezza del sole sull'orizzonte, AB è lo gnomone e CB la sua ombra.

Il triangolo ABC può essere geometricamente utile per la misura diretta o indiretta dell'angolo α .

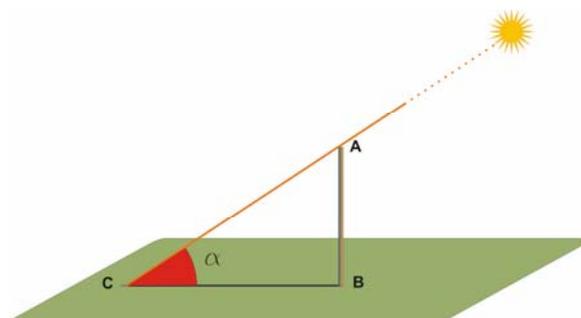


fig.1 L'angolo α è l'altezza del Sole (N.Scarpel)

Precisione della misura

Qualsiasi strumento o metodo si decida di usare, è necessario tener presenti alcuni aspetti tecnici:

- il piano su cui si proietta l'ombra deve essere orizzontale. Se si tratta di un tavolino è necessario controllarne l'orizzontalità con una livella.
- lo gnomone deve essere verticale. Se si tratta di un bastone, la verticalità va controllata con un filo a piombo. Nel caso di strumenti più piccoli, la verticalità si deve ottenere geometricamente, nella costruzione stessa dello strumento.
- quanto maggiore è l'altezza dello gnomone, tanto maggiore sarebbe, teoricamente, la precisione della misura. In realtà con l'altezza dello gnomone, l'estremità dell'ombra proiettata è sempre meno distinta e più difficile è misurarne la lunghezza. La precisione aumenta risolvendo i problemi di penombra.

Ombra e problemi di penombra

Il Sole non è una sorgente puntiforme e quindi le ombre proiettate non hanno contorni nitidi. La larghezza della fascia di penombra è tanto maggiore quanto maggiore è la distanza dell'oggetto dal piano sul quale esso proietta la sua ombra.

L'ombra di un bastoncino verticale proiettata su un piano orizzontale ha contorni molto nitidi nei pressi della base e diventa via via più sfumata verso l'estremità, dove la zona di penombra raggiunge la massima ampiezza.

E' necessario misurare l'altezza del centro del Sole e quindi individuare il punto medio della fascia di penombra che si trova all'estremità dell'ombra del bastoncino (fig.2).

Si può eseguire una doppia misurazione che consiste nel tracciare due punti sul foglio: il punto dell'estremità dell'ombra vera e propria e il punto dell'estremità della penombra e quindi trovare graficamente o con il calcolo il punto medio della penombra.

La doppia misurazione implica la necessità di trovare due punti di transizione: quello tra l'ombra e la penombra e quello tra la penombra e la luce piena. Entrambe queste transizioni sono incerte e di

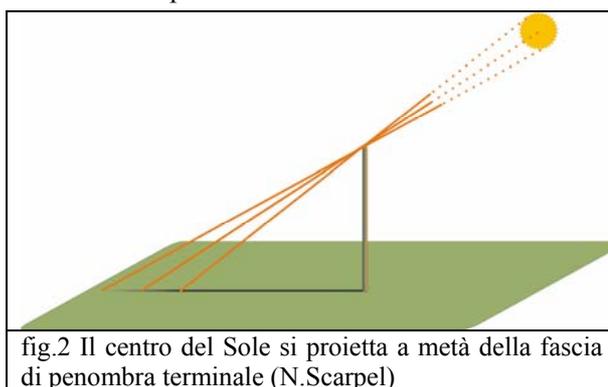


fig.2 Il centro del Sole si proietta a metà della fascia di penombra terminale (N.Scarpel)

¹ Vedi Prerequisiti 3P

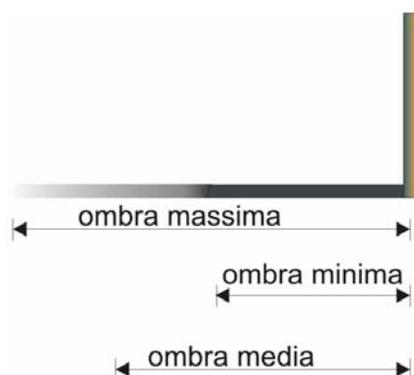


fig.3 La doppia misurazione (N.Scarpel)

difficile individuazione.

La tecnica consigliata, è quella del *foro gnomonico*, che favorisce una misurazione più precisa. Infatti, anche l'ellisse o il cerchio luminoso proiettato da un foro è soggetto a penombra nel suo bordo interno, ma risulta comunque più facile individuare il punto che si trova al centro di un cerchietto, all'incrocio degli assi del foro (fig 4).

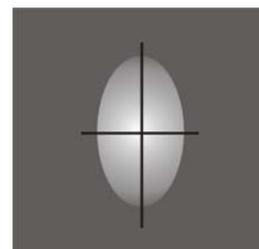


fig.4 I due assi dell'occhio di luce di un foro gnomonico si incrociano nel centro (N.Scarpel)

Il diametro del foro va verificato con la pratica: deve essere

abbastanza grande da proiettare una macchiolina di luce evidente, ma non troppo grande da rendere difficile l'individuazione del centro. Per uno gnomone di una ventina di centimetri di altezza il diametro ottimale del foro è tra uno e due millimetri.

Misure dirette e indirette dell'altezza del sole

Per misurare l'angolo α o altezza del sole sull'orizzonte si può operare con misure dirette o indirette utilizzando vari strumenti.

Misura diretta dell'angolo.



fig.5 Misura diretta dell'altezza del sole (L.Corbo)

Una misura diretta dell'altezza del Sole si effettua posizionando alla fine dello gnomone un filo che, teso fino alla fine dell'ombra, ricostruisce il triangolo ABC di fig.1. Il filo rappresenta il raggio di Sole che forma con l'orizzonte l'angolo α , corrispondente all'altezza del sole. Con un goniometro si può misurare direttamente l'angolo α che il filo teso forma con l'orizzonte (fig.5).

Misura diretta dell'angolo sul triangolo disegnato.

Un altro metodo di misura diretta si effettua ricostruendo il triangolo rettangolo ABC di fig.1 su

un foglio di carta, in cui si riportano le dimensioni reali o ridotte in scala dell'altezza dello gnomone e della lunghezza dell'ombra. Sul triangolo disegnato si misura direttamente l'angolo α con un goniometro.

Misura indiretta con la trigonometria.

L'angolo α , l'altezza del Sole sull'orizzonte, può essere determinato, per livelli di complessità maggiori, mediante formule trigonometriche.

Si misura l'altezza dello gnomone e la lunghezza dell'ombra e si ricostruisce geometricamente il triangolo ABC di fig.1. Con la formula seguente si recava l'altezza del Sole, α .

$$\alpha = \arctan(AB/BC)$$

All'indirizzo www.vialattea.net/eratostene/altezza/arctan.html della Rete di Eratostene vi è un *modulo di calcolo* che consente di eseguire automaticamente questo passaggio matematico.

Gnomoni per misure dirette e indirette

Il bastone verticale

Un bastone piantato a terra, o semplicemente appoggiato, rappresenta perfettamente lo gnomone. Se ne controlla la verticalità con lo strumento più adatto allo scopo: il filo a piombo.

Si sceglie una superficie orizzontale sulla quale sia possibile tracciare dei segni. Nel momento prescelto si segna la posizione sull' terreno dell'estremità dell'ombra del bastone e si procede alla misura dell'altezza, con la modalità individuata dai docenti come più adatta al livello di scolarità degli alunni.



fig.6 Misurazione diretta con corda e goniometro di cartone degli alunni della S.M.S. "Caloprese" di Scalea (G.Castelli).

Lo gnomone di cartoncino

Lo strumento, di cartoncino, è di rapidissima costruzione.

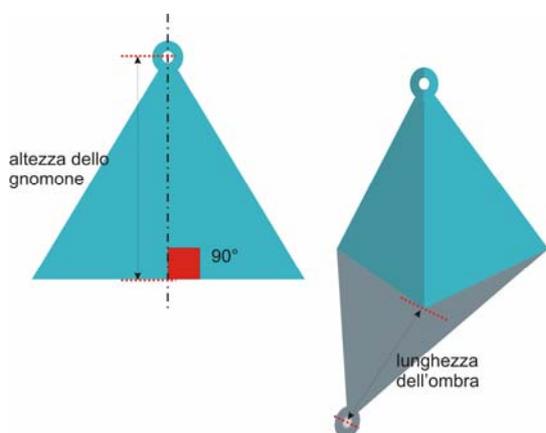


Fig.7 Il triangolino di cartone disegnato e il triangolo piegato lungo l'asse perpendicolare alla base. La piegatura funziona da gnomone verticale la cui altezza si misura dalla base al centro del foro (N.Scarpel)

ottiene misurando la distanza tra la base dello gnomone (angolo della piegatura) e il centro del cerchietto luminoso proiettato dal foro gnomonico (fig.7).

Per avere maggiore precisione nelle misure conviene costruirne più di uno. Un banco di scuola può ospitare anche quattro o cinque di questi piccoli "gnomoni".

Prima della misurazione si sistemano gli gnomoni di cartoncino sul banco in modo tale che l'ombra proiettata dal foro gnomonico cada all'interno del piano. Si consiglia di fissare lo strumento al tavolino con del nastro adesivo (fig.8).

Conoscendo l'altezza dello gnomone e la lunghezza dell'ombra si può procedere alla determinazione dell'altezza del Sole col metodo prescelto.

Si ritaglia su un cartoncino un triangolo isoscele di dimensioni piuttosto piccole (base 20cm e altezza 6-7cm) e sul vertice si lascia un dischetto dotato di foro.

Lo strumento va poi piegato a 90° lungo il suo asse di simmetria: tale linea rappresenterà la verticalità dello gnomone e quindi è importante l'accuratezza del disegno e del ritaglio, soprattutto per quanto riguarda la perpendicolarità tra la base del triangolo e la piega.

Una volta appoggiato il triangolo sulla base piegata, il foro gnomonico, molto basso, proietta sul piano un piccolo e nitido cerchietto di luce.

La lunghezza dell'ombra si

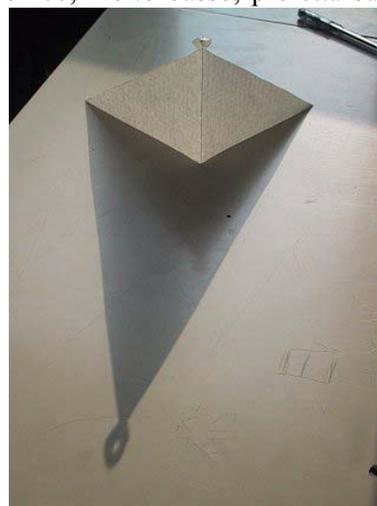


fig.8 Lo gnomone di cartoncino in opera (N.Scarpel)

Le due squadrette

Si utilizzano due squadrette attaccate con nastro adesivo che garantiscono, da un lato, la perpendicolarità dello spigolo-gnomone rispetto al piano di appoggio e, dall'altro, uno strumento piuttosto stabile e facilmente trasportabile.

Si costruisce una mascherina in cartoncino e si allinea il foro allo spigolo per una lettura precisa della lunghezza dell'ombra. La mascherina ha anche la funzione di proiettare una zona d'ombra in cui la macchiolina luminosa risalta maggiormente anche se molto piccola (fig.9).

L'altezza dello gnomone e la lunghezza dell'ombra vanno calcolate come per lo gnomone di cartoncino².

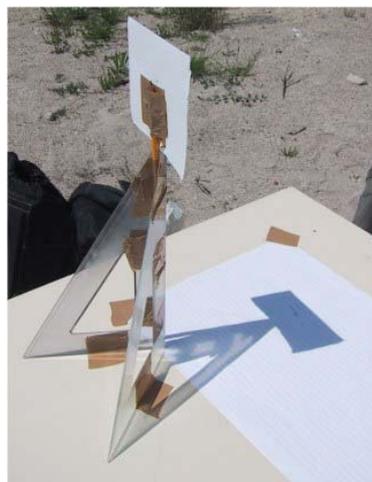


fig.9 Lo strumento con due squadrette (N.Scarpel)

Il quarto di goniometro

Per avere un goniometro adatto alle misure dirette di altezza del sole è sufficiente costruirne uno a quarto di cerchio, che sarà tanto più preciso quanto maggiori saranno le sue dimensioni. Può essere costruito dagli alunni stessi in cartoncino robusto o legno e su di esso vanno riportate le misure angolari da 0° a 90°.

E' importante che il lato del quarto di cerchio, dal centro a 0°, sia aderente al bordo e non distanziato (fig.11 e 12).

Si suggerisce inoltre di costruire il goniometro con un appoggio laterale che lo tenga in piedi da solo.

Chi lavora con il linguaggio Logo può far "trovare" agli alunni una procedura che disegni un goniometro da stampare e incollare sul cartoncino andando all'indirizzo della Rete di Eratostene www.vialattea.net/eratostene/altezza/logo.htm.

Si utilizza con il centro in corrispondenza della fine dell'ombra dello gnomone e il lato con 0° aderente al terreno(fig.5).

² Vedi Strumenti 2S.2

Strumenti per misure dirette dell'altezza del sole e degli astri

Il plinto tolemaico con una scatola di cd

Il plinto tolemaico è uno strumento antico, descritto da Tolomeo nel II secolo d.C., con cui si misurava ogni giorno l'altezza del sole sull'orizzonte a mezzogiorno solare. E' costituito da un muro verticale orientato lungo il meridiano del luogo, sulle cui pareti è disegnato un quarto di goniometro con lo 0° verso il lato superiore e i 90° verso il lato verticale. Un piolo perpendicolare alla parete è posto nello spigolo superiore che coincide col centro del goniometro e la sua ombra indica direttamente l'altezza del sole. Nel giardino dell'Ist. Comprensivo "Sarto" di Castelfranco Veneto ne è stato costruito uno insieme ad altri magnifici strumenti astronomici dalla prof. Elsa Stocco (fig.10).



fig.10 Plinto costruito in muratura nel giardino dell'Ist. Comprensivo "Sarto" di Castelfranco Veneto (E.Stocco)

Con una semplice *scatola di cd* è possibile costruire un plinto "portatile", facile e comodo da usare.

Sono necessari una scatola vuota di cd, uno stuzzicadenti o un ago, una matita e un goniometro.

Si disegnano due quarti di goniometro di uguali dimensioni e simmetrici, con la gradazione da 0° a 90° , su carta o cartoncino³ e li si incollano sulle pareti laterali, avendo cura di allineare lo 0° con il bordo superiore del cd e i 90° con il bordo verticale.

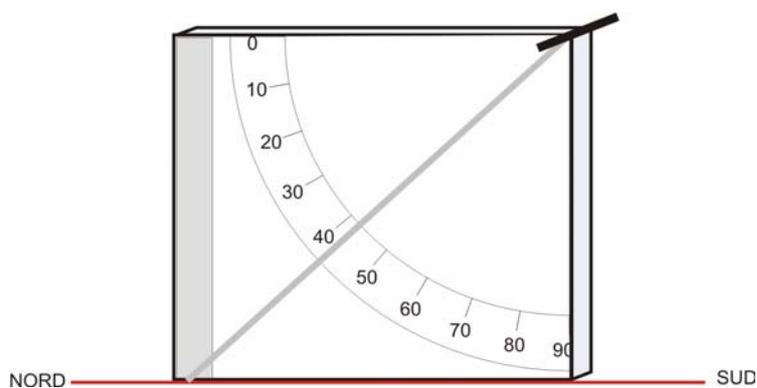


fig. 11 Schema di un plinto con la scatola di CD (N.Scarpel)

Lo stuzzicadenti o ago, che funziona da stilo va fissato con nastro adesivo sullo spigolo della scatola, perpendicolarmente alle facce laterali del CD, nel centro del quarto di goniometro (fig.11).

Per effettuare la misura si appoggia la scatola su un piano orizzontale, orientandola la base lungo l'asse N-S.

I raggi solari illuminano al mattino la faccia orientale del cd e dopo mezzogiorno l'altra.

A mezzogiorno solare l'ombra dello stilo su entrambi i lati indica l'angolo di altezza del sole in meridiano.

Il Quadrante mobile

Il quadrante mobile è costituito da un quarto di goniometro graduato, disegnato su carta e fissato su una tavoletta o un supporto a piacere. Nel centro del goniometro si fissa un filo a piombo, che va lasciato libero di muoversi, così da funzionare come "lancetta" per leggere l'angolo.

Per maneggiarlo bene, si consiglia di mettere un supporto prensile sul lato opposto al quarto di goniometro (fig.12).

Per poter traguardare gli astri o misurare l'altezza del sole senza guardarlo è necessario posizionare un tubicino o due mirini allineati agli estremi lungo il lato che va dal centro del quadrante a 90° .

³ Vedi Strumenti 2S.4

Strumenti con schede operative

Se si vuole misurare l'altezza di una stella o di un pianeta, li si riguarda attraverso il tubicino o i due mirini e il filo a piombo indica direttamente l'angolo corrispondente. Se si vuole utilizzare lo strumento per misurare l'altezza del sole, che non va mai osservato direttamente, si può orientare verso l'astro il tubicino o i due mirini fino ad avere su un cartoncino o anche sulla propria mano un tondino di luce dai contorni nitidi. Si legge sul goniometro l'angolo che il filo a piombo indica sul quadrante: esso corrisponde all'altezza del Sole di quel momento.

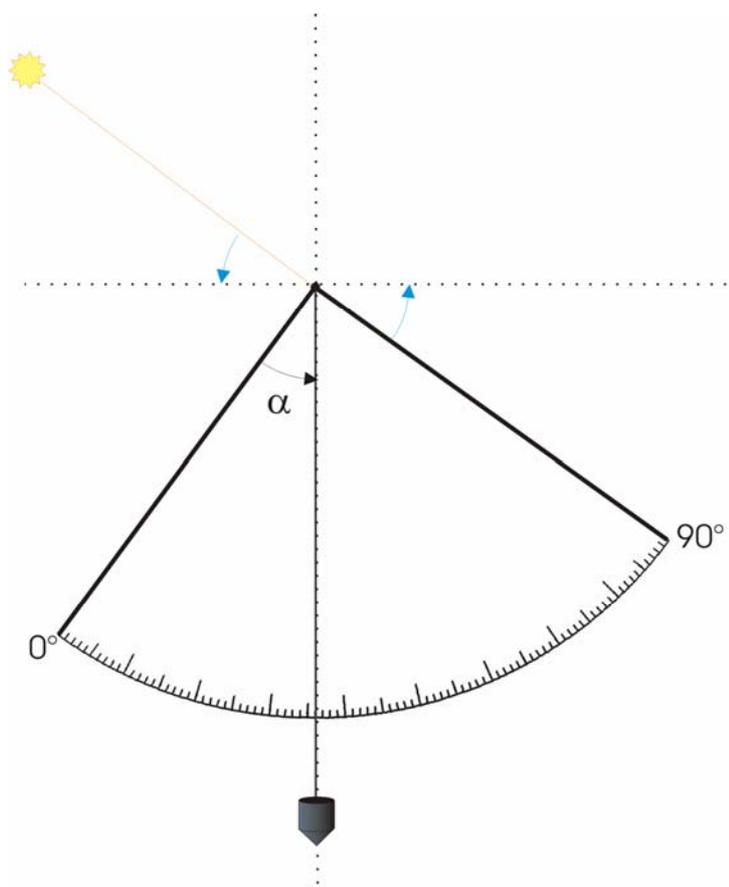


fig.12 Il quadrante mobile (N.Scarpel)

Il quadrante e il sestante di legno

I più esperti in manualità possono cimentarsi con strumenti in legno per misure ancora più precise. Nelle foto di fig.13 e 14 si vedono un quadrante mobile e un sestante (un sesto di cerchio), costruiti dal prof. G. Cabizza del Liceo Scientifico "Spano" di Sassari e utilizzati per le misurazioni effettuate dalle sue classi per la Rete di Eratostene.

Entrambi gli strumenti sono basati su settori circolari costruiti con un raggio di cerchio di 57,3 cm, cui corrisponde una circonferenza di 360 cm. In questo modo si ottiene che sulla circonferenza, dove si leggono direttamente gli angoli, 1 cm corrisponda a 1° ed 1 mm a 1/10 di grado.

Ciò permette di utilizzare, per le corrispondenze di misure, materiali facilmente reperibili e precisi, come una riga da 60 cm in plexiglas per l'arco di 60 cm del sestante ed un metro di carta plastificata per l'arco di 90 cm del quadrante verticale.

Le mire e le guide degli strumenti di Sassari sono state costruite in ottone. La struttura

del sestante è in mogano, quella del quadrante in multistrato marino da 16 mm. I due strumenti sono dotati di una piastra di alluminio



fig.13 Il quadrante su cavalletto e il sestante tenuto dal Prof. Giannicola Cabizza del Liceo Classico "Spano" di Sassari (G.Cabizza).



fig. 14 Il sestante costruito con la riga di 60cm (G.Cabizza)

con attacco standard per cavalletto fotografico.

Nel caso delle misure solari col quadrante, il foro sulla mira anteriore proietta un disco che va centrato sul foro della mira posteriore o su un crocicchio centrato su quest'ultima.

La lettura dell'altezza del Sole non deve essere mai diretta ma si deve proiettare il disco su un foglio o una qualsiasi superficie.

Il gruppo di ragazzi che ha lavorato alle misure col quadrante ha ottenuto sempre dei risultati molto prossimi a quelli veri.

Sole in meridiano

Si sa che gli orologi meccanici o elettronici sono sincronizzati convenzionalmente alla stessa ora nell'ambito di uno stesso fuso orario.

Due orologi solari o meridiane di due località che non si trovano alla stessa longitudine, invece, segnano due tempi solari diversi ad una lettura simultanea.

Ad esempio, se l'ombra dell'orologio solare posto nella località più ad ovest segna il mezzogiorno al passaggio del Sole sul meridiano, nello stesso momento l'orologio che si trova nella località ad est indica che il mezzogiorno è già trascorso, quindi il passaggio al meridiano è già avvenuto.

La differenza tra i due tempi solari segnati è tanto più grande quanto maggiore è la differenza di longitudine tra le due località di lettura.

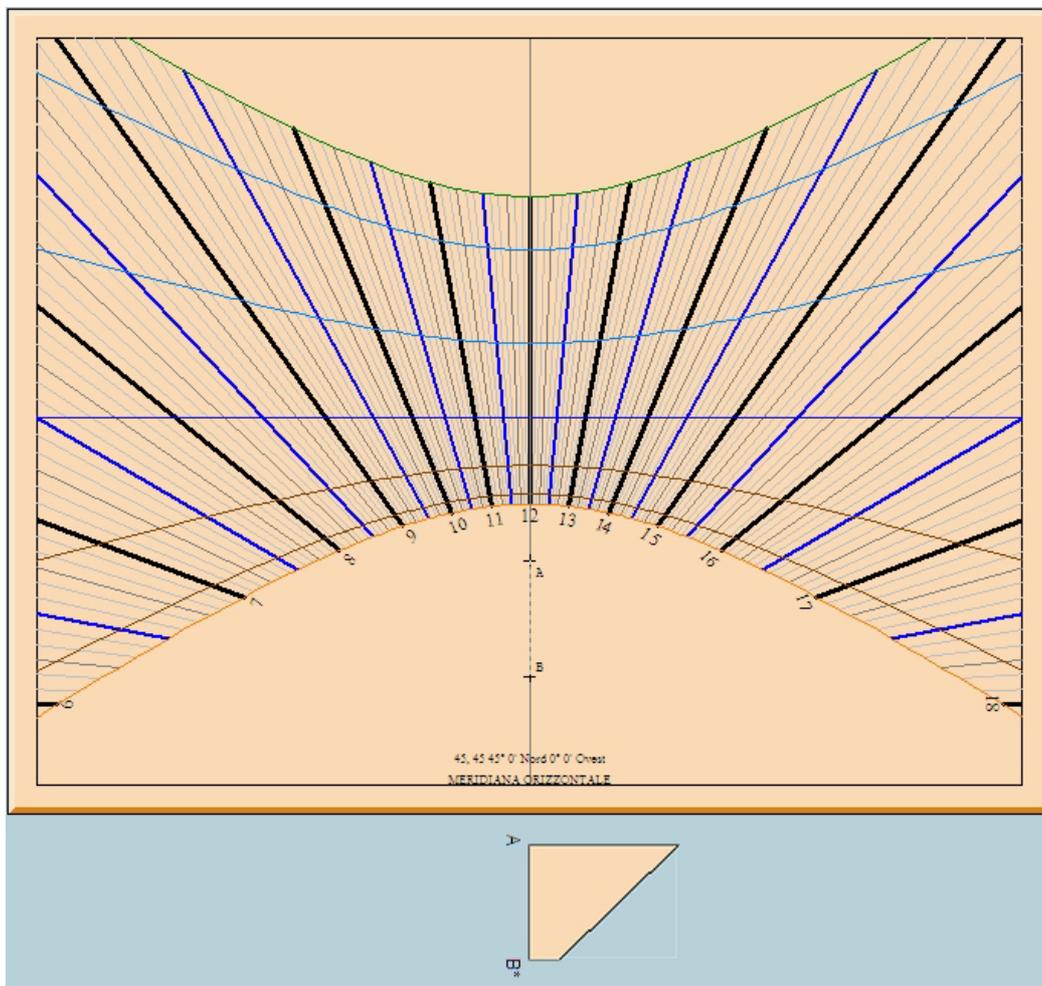


fig.1 La meridiana di carta adatta a 45° di latitudine

(N.Scarpel).

Meridiane di carta

Sul sito della Rete di Eratostene sono state predisposte delle "**meridianine**" adatte ad ogni grado di latitudine del territorio italiano¹ all'indirizzo www.vialattea.net/eratostene/orologiemeridiane.

Si tratta di un semplicissimo orologio solare orizzontale di carta già predisposto (fig.1). Una volta scelta la meridiana o orologio solare più vicina alla **latitudine del luogo** in cui si opera, si stampa su cartoncino. Il montaggio è semplice: il trapezio posto sotto il quadrante è lo gnomone proporzionato e inclinato al giusto modo. Si ritaglia, lasciandogli un po' di *piede* inferiormente. Esso rappresenta il supporto dello stilo che va posto con il lato AB in corrispondenza del segmento AB segnato all'interno del quadrante; una volta incollato il *piede* al quadrante va sollevato il trapezio di 90°. Il lato inclinato, parallelo all'asse terrestre, rappresenta lo **stilo** che proietta l'ombra sul quadrante indicando l'ora.

Bisogna fare bene attenzione a sistemare il trapezio che sostiene lo stilo in modo che sia il più possibile dritto e verticale.

Orientamento della meridiana di carta

La meridiana va orientata con il segmento AB allineato al meridiano del luogo² con A verso Nord e B verso Sud.

E' bene ricordare che la bussola non serve perché indica il Nord magnetico e non quello geografico.

Per trovare la direzione N-S si può procedere con uno dei metodi indicati negli Strumenti 1S oppure si può procedere come segue. Si cerca sul sito della Rete di Eratostene l'applet che calcola il momento del passaggio del Sole al meridiano del luogo www.vialattea.net/eratostene/astrocalc/sole1.html; in quel preciso istante si segna sul piano di appoggio, che ovviamente non va più spostato, l'ombra di un filo a piombo che corrisponde alla *linea Nord - Sud o meridiano*, con il Sud nella direzione del sole e il Nord dalla parte opposta.

Si allinea quindi sul meridiano individuato la linea di mezzogiorno della meridiana di carta, che è il prolungamento del segmento AB.

La meridiana di carta con l'ombra dello gnomone è pronta per segnare le ore.

¹ Le immagini dei quadranti solari sono stati create e corrette con il programma Shadows 1.6 di François Blateyron <http://perso.wanadoo.fr/blateyron/sundials/shadowspro/gb/index.html>

² Vedi Prerequisiti 2P e Strumenti 1S

4S MODELLINO DIDATTICO “IL SOLE DI TOLOMEO SUL MONDO COPERNICANO”

Percorsi diurni del Sole sull'orizzonte

Un qualunque osservatore con i piedi sulla Terra vede il Sole percorrere degli archi diurni sul suo orizzonte, diversi nel corso dell'anno. Agli **Equinozi** il Sole percorre esattamente l'**Equatore celeste**¹; poi, per l'inclinazione dell'asse terrestre di $23^{\circ}27'$ rispetto all'asse dell'Eclittica, esso sembra *salire e scendere* sull'Equatore celeste e percorrere archi diurni quasi paralleli tra loro, sempre più spostati verso Nord in estate e verso Sud in inverno fino ad un massimo.

Ogni giorno quindi il Sole ha una **declinazione** diversa che va dallo 0° agli Equinozi a $+23^{\circ}27'$ al Solstizio estivo, per poi diminuire fino a $-23^{\circ}27'$ al Solstizio invernale².

Nell'*Emisfero boreale* il **Polo Nord Celeste**, individuato dalla *Stella Polare*, è alto sull'orizzonte, in direzione del Nord geografico, quanto la **latitudine del luogo**³; la congiungente di esso con l'osservatore al centro dell'orizzonte rappresenta il prolungamento dell'Asse terrestre; perpendicolarmente ad esso c'è nel cielo l'**Equatore celeste** che va da Est ad Ovest in senso orario, alto sull'orizzonte a Sud quanto la *colatitudine del luogo* (fig.1).

Nell'*Emisfero australe* il **Polo Sud celeste** non ha una stella che lo individui, è alto sull'orizzonte, in direzione del Sud geografico, quanto la latitudine del luogo e la congiungente di esso con l'osservatore al centro dell'orizzonte rappresenta il prolungamento dell'Asse terrestre; perpendicolarmente ad esso c'è nel cielo l'**Equatore celeste** che va da Est ad Ovest in senso antiorario, alto sull'orizzonte a Nord quanto la colatitudine del luogo (fig.2).

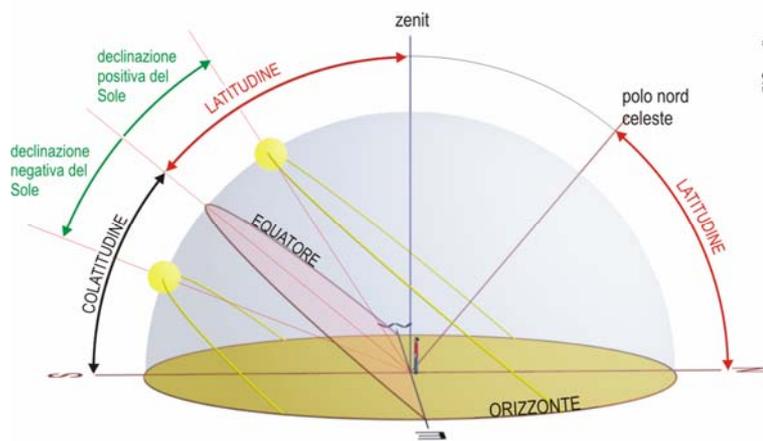


fig.1 Il percorso del Sole in un anno nel cielo di un osservatore di una località con **latitudine 50° N** (N.Scarpel)

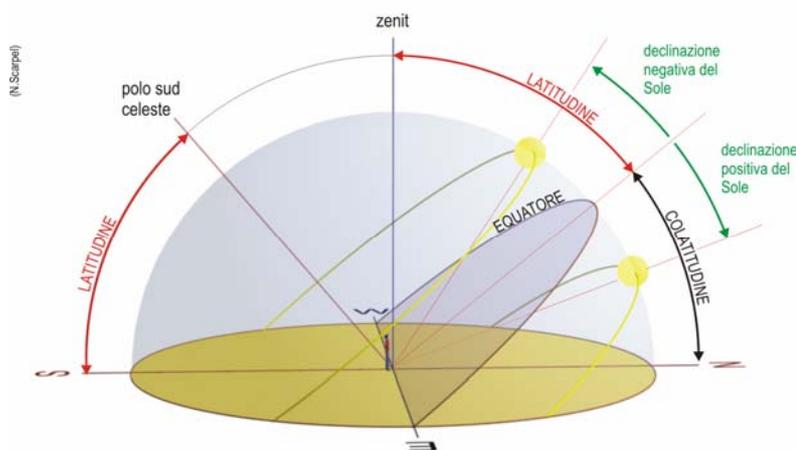


fig.2 I percorsi del Sole in un anno nel cielo di un osservatore di una località con **latitudine 50° S** (N.Scarpel)

¹ vedi Prerequisiti 1P

² vedi Prerequisiti 4P

³ vedi Scheda didattica 2SD

Il modellino

Il modellino didattico “**Il Sole di Tolomeo sul mondo copernicano**” serve a simulare il percorso del Sole sull’orizzonte in qualsiasi località della Terra, sia dell’Emisfero boreale che australe, *a partire dal punto di vista del nostro emisfero*.

Esso è costituito da una base fissa in cartoncino riprodotto sulla retrocopertina di questo libro e da una parte mobile, in lucido

Sulla **base fissa** sono rappresentati la Sfera celeste ed il piano dell’orizzonte (fig.3).

Sulla Sfera celeste sono indicati:

per l’**Emisfero Nord** le posizioni della Stella Polare o Polo Nord celeste sull’orizzonte al Polo Nord geografico, al Circolo Polare Artico, a Roma ed al Tropico del Cancro;

per l’**Emisfero Sud** le posizioni del Polo Sud Celeste sull’orizzonte al Polo Sud geografico, al Circolo Polare Antartico ed al Tropico del Capricorno.

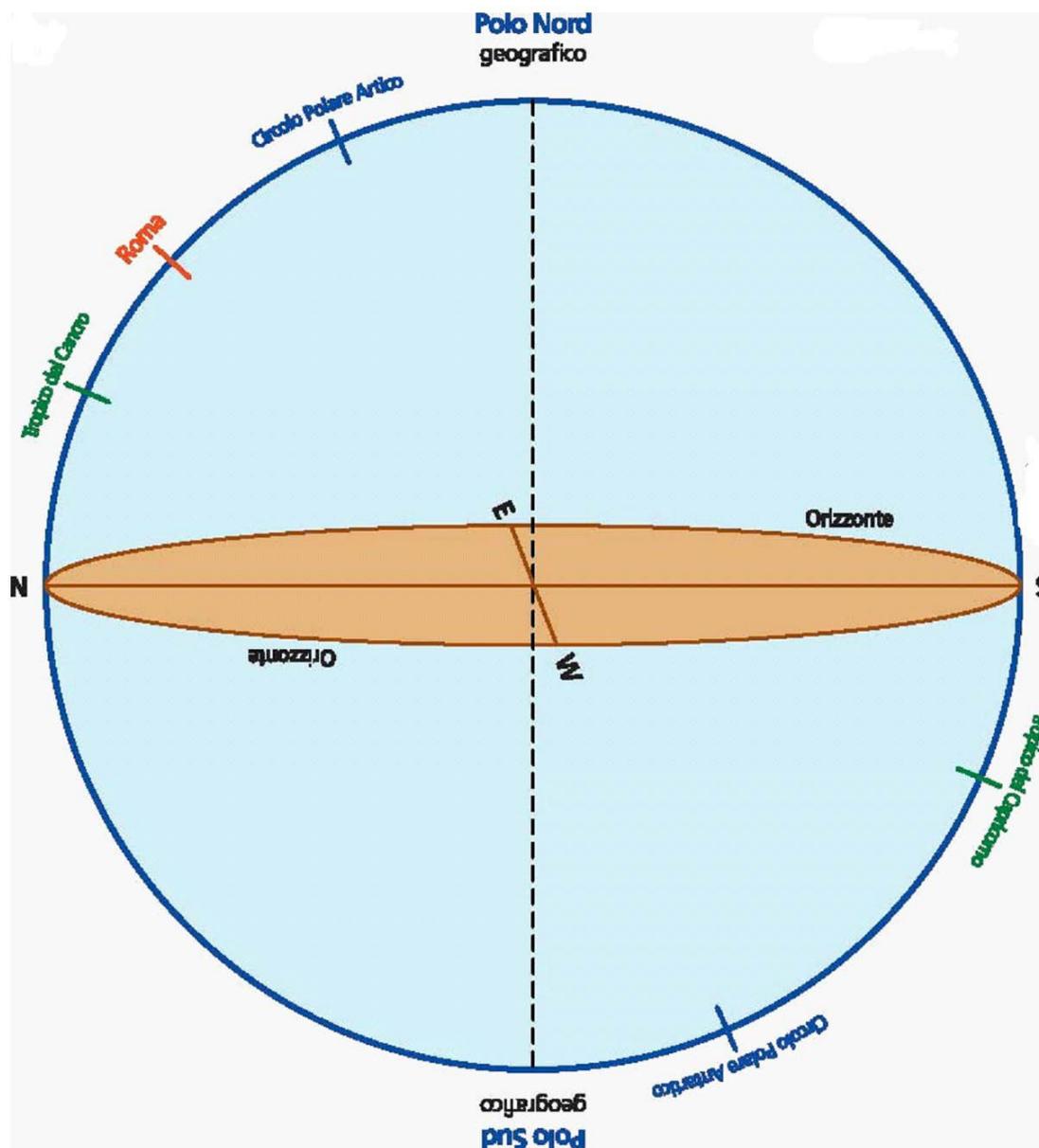


fig.3 Base fissa del modello con sfera celeste e piano dell’orizzonte con punti cardinali (L.Corbo)

Sul piano dell’orizzonte sono indicati i punti cardinali, N-E-S-W, che restano fissi per entrambi gli emisferi, boreale ed australe.

Strumenti con schede operative

Sul **lucido** sono rappresentati la Sfera celeste, il prolungamento dell'asse terrestre nel cielo, l'Equatore celeste ed i percorsi del Sole sulla Sfera celeste (fig.4).

Sulla Sfera celeste sono individuati:

- i rispettivi Poli Nord e Sud celesti e l'Equatore celeste, che coincide col percorso del Sole agli Equinozi;
- i percorsi del Sole, che, per semplificare il disegno, sono stati rappresentati solo ai Solstizi di estate e di inverno, *come intesi nel nostro emisfero*; entrambi sono spostati rispetto all'Equatore celeste di un angolo di $23^{\circ}27'$, verso il Polo Nord celeste al Solstizio di estate e verso il Polo Sud celeste a quello di inverno.

Come si usa il modellino

Per prima cosa bisogna montare il modellino, sovrapponendo il lucido sulla base e facendone coincidere i bordi; si fissano entrambi al centro con un *bottoncino automatico*, di modo che il lucido abbia la possibilità di ruotare sulla base e viceversa.

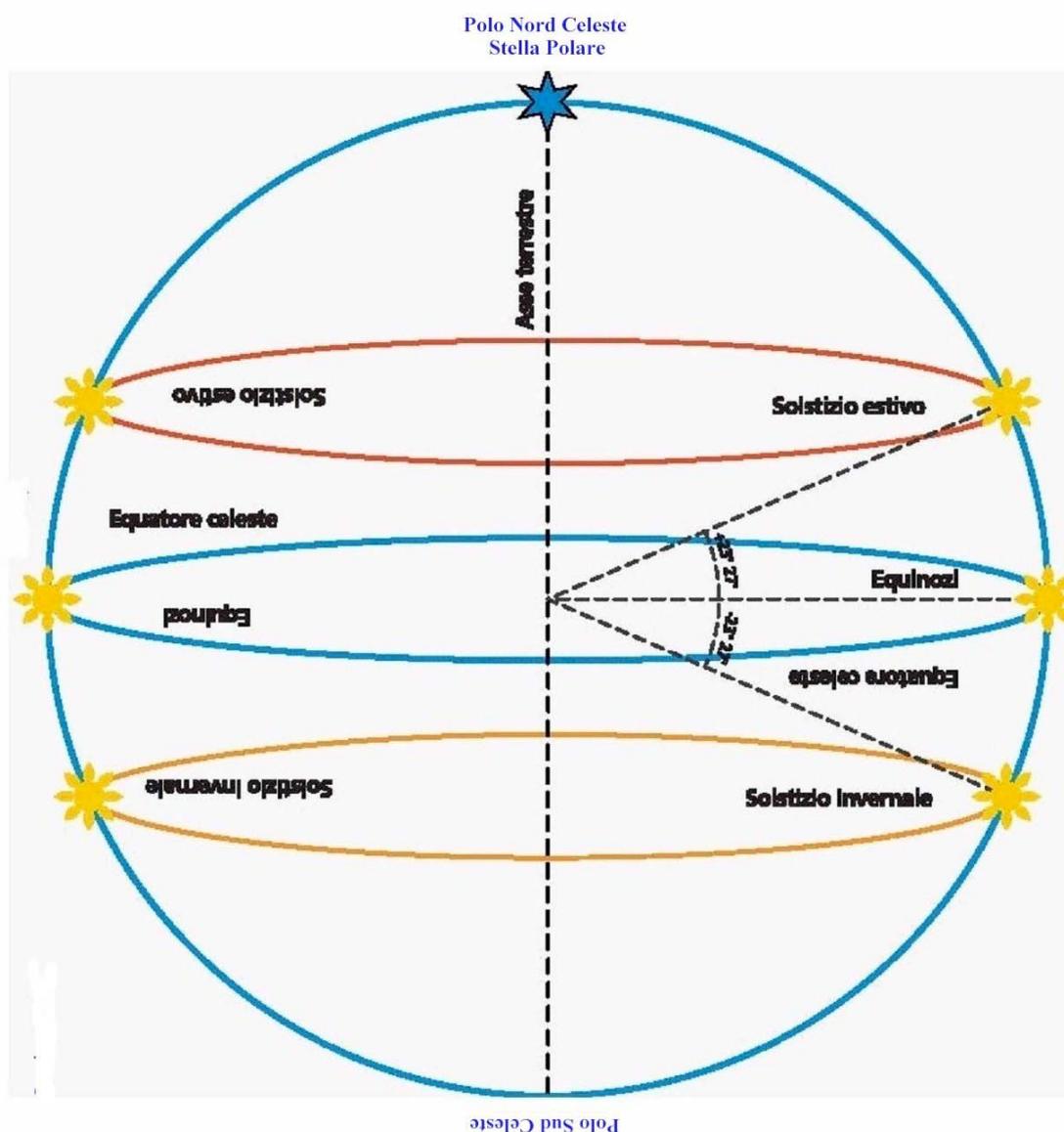


fig.4 Parte mobile del modello su lucido con Sfera celeste, Polo Nord e Sud celesti e cerchi diurni del Sole agli Equinozi e Solstizi.

Strumenti con schede operative

Per **visualizzare il percorso diurno del Sole in varie località della Terra**, si suggerisce di far partire il ciclo annuale sempre **dall'Equinozio di primavera** e si esemplificano di seguito alcune modalità di utilizzo del modello.

- **Al Polo Nord:** si ruota il lucido fino a far coincidere la Stella polare col Polo Nord indicato sulla base e si nota subito che *il piano dell'orizzonte coincide con l'Equatore celeste*. E' evidente che all'*Equinozio di primavera*, il Sole permane *tutto il dì sull'orizzonte*, muovendosi in senso orario. Nel trimestre successivo il Sole sale sull'orizzonte percorrendo archi diurni a spirale, quasi paralleli all'orizzonte; raggiunge la massima altezza al *Solstizio estivo*, quando descrive un arco diurno parallelo all'orizzonte mantenendo tutto il giorno l'altezza di $23^{\circ} 27'$. Da quel giorno in poi inizia a scendere sull'orizzonte fino all'*Equinozio d'autunno* quando ripercorre l'orizzonte-Equatore celeste: finisce il lungo giorno ed il Sole si avvia a sparire sotto l'orizzonte verso le posizioni invernali, facendo iniziare la lunga notte.
- **Al Polo Sud:** *si capovolge* il modellino orientato come sopra e si osserva che le situazioni sono le stesse agli Equinozi, con il Sole che si muove in senso antiorario da Est ad Ovest, e **invertite ai solstizi**, con il lungo giorno, estate, nel semestre buio del Polo Nord e la lunga notte, inverno, in quello illuminato del Polo Nord.
- **Al Circolo Polare Artico:** si ricorda che ha latitudine $66^{\circ} 33'N$, per cui si gira il lucido sulla base fino a far coincidere la Stella Polare con l'indicazione corrispondente al CPA sulla base. Si nota che all'*Equinozio di primavera* il Sole, che percorre sempre l'Equatore celeste, sorge precisamente ad Est e tramonta ad Ovest descrivendo un arco diurno che ha uguale lunghezza di quello notturno (il dì uguale alla notte, come in tutto il mondo tranne ai Poli). A mezzogiorno solare il Sole raggiunge ogni giorno a Sud sull'orizzonte la sua massima altezza, che coincide con la colatitudine del luogo. Andando verso l'*estate* il Sole "sale" sull'Equatore celeste verso il Polo Nord Celeste. fino al massimo angolo di $+23^{\circ}27'$ del *Solstizio estivo*; sorge sempre più a Nord-Est e tramonta sempre più a Nord-Ovest con archi diurni più lunghi di quelli notturni (il dì più lungo della notte) ed a mezzogiorno solare è alto a Sud quanto la colatitudine del luogo più la declinazione del Sole di quel giorno. Al *Solstizio estivo* il Sole non tramonta mai ed a mezzanotte sfiora l'orizzonte, da cui *il Sole di mezzanotte*; da quel giorno il Sole riprende il cammino inverso e si abbassa sull'Equatore celeste fino a raggiungerlo **nell'Equinozio autunnale**, con le stesse caratteristiche di quello primaverile; continua poi ad abbassarsi, sorgendo e tramontando rispettivamente sempre più a SE e SW, con archi diurni sempre più corti di quelli notturni; raggiunge la posizione del *Solstizio invernale* quando è tutto il giorno sotto l'orizzonte, tranne a mezzogiorno quando sfiora l'orizzonte.
- **Al Circolo Polare Antartico:** si capovolge il modellino orientato come sopra e si osserva che le situazioni (e stagioni) sono *invertite ai solstizi*, rispetto al C.P.Artico e con il Sole che si muove in senso antiorario; agli *Equinozi* il percorso del Sole avviene in senso antiorario da Est verso Nord ad Ovest, con il dì uguale alla notte.

Si procede con la stessa tecnica, orientando il Modello per Roma o qualsiasi altra località dell'Emisfero boreale, con la Stella Polare alta sull'orizzonte verso Nord quanto la latitudine del luogo; per le località dell'Emisfero australe si avrà l'accortezza di orientare il Polo Sud celeste alto sull'orizzonte verso Sud quanto la latitudine del luogo.

E così si potrà osservare che al Tropico del Cancro il Sole è allo Zenit al Solstizio estivo mentre al Tropico del Capricorno lo è a quello invernale.

Oppure si potrà osservare che nelle località poste lungo l'Equatore il Sole percorre archi diurni sempre uguali a quelli notturni, per cui pur variando l'altezza del Sole, il dì è sempre uguale alla notte.

Eratostene e il suo metodo

Eratostene di Cirene (276-194 a.C.) matematico, astronomo e poeta, viveva ad Alessandria d'Egitto dove dirigeva la famosa biblioteca.

Eratostene sapeva che, a mezzogiorno del solstizio d'estate, il Sole illuminava il fondo dei pozzi a Siene, l'attuale Assuan, situata a circa 840 Km a sud-est di Alessandria, nei pressi del Tropico del Cancro.

Infatti il Sole in quel momento dell'anno si trovava allo Zenit di Siene e un bastoncino piantato verticalmente a terra non avrebbe proiettato nessuna ombra. Ad Alessandria, dove lui viveva, invece contemporaneamente i raggi del Sole non erano verticali ma si discostavano dalla verticalità per un cinquantesimo dell'angolo giro, pari a $7,2^\circ$.

Eratostene partiva dal presupposto che la distanza del Sole fosse tanto grande da far sì che i suoi raggi arrivassero praticamente paralleli. Inoltre presupponeva che la Terra fosse sferica, per cui la differenza di inclinazione di $7,2^\circ$ dei raggi solari tra le due città doveva dipendere dalla curvatura della superficie terrestre.

Egli ragionò così: l'angolo di $7,2^\circ$ formato dai raggi solari con la verticale di Alessandria è congruente all'angolo che ha per vertice il centro della Terra e i cui lati passano rispettivamente per Alessandria e Siene; infatti sono angoli corrispondenti, generati da due parallele intersecate da una retta. Si tratta quindi della *distanza angolare* tra le due città (fig.1).

Poiché $7,2^\circ$ corrisponde ad $1/50$ dell'angolo di 360° , ciò significa anche che la distanza *effettiva* tra le due città, ritenuta allora di 5.000 stadi, è un cinquantesimo della circonferenza terrestre. Dunque la circonferenza terrestre misura $50 \cdot 5000$ stadi = 250.000 stadi.

Non è facile stabilire una corrispondenza tra le unità di misura di allora con quelle attuali. La lunghezza dello stadio greco è molto discussa, variando dai 154 m ai 215 m. Secondo le opinioni più accreditate, lo stadio usato da Eratostene corrispondeva a 185 metri attuali: ne risulterebbe così una circonferenza terrestre di 46.250 km.

Secondo altri autori lo stadio doveva essere pari a 157,5 m e quindi la circonferenza doveva corrispondere a 39.690 km attuali. Quale sia la valutazione storica più vicina al vero non spetta a noi dirlo.

In ogni caso, tenendo conto che a quel tempo le grandi distanze si misuravano a passi, che l'altezza del Sole si misurava con le ombre e che era impossibile controllare un buon allineamento Nord-Sud di due località così lontane (la differenza di longitudine Alessandria-Assuan è quasi di 3°) si può senz'altro concludere che la misura della Terra, ottenuta da Eratostene con un metodo geniale per sua semplicità, si avvicinò in modo sconcertante al valore

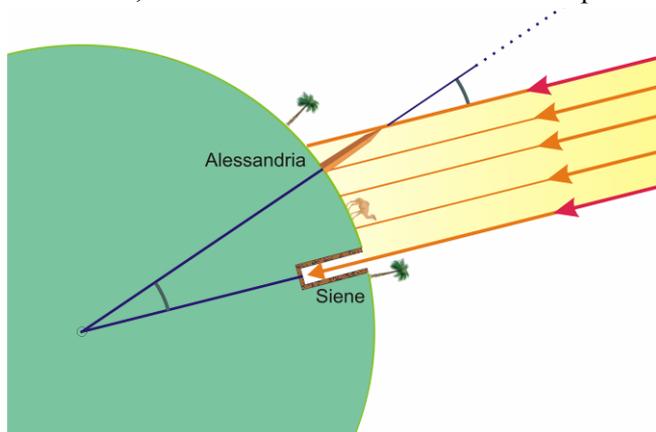


fig.1 Per la curvatura della superficie terrestre i raggi solari giungono a Siene e ad Alessandria con inclinazioni diverse rispetto alla verticale del posto. (N.Scarpel)

attuale.

La Rete di Eratostene tra scuole e il suo metodo di lavoro

E' proprio la semplicità di realizzazione che rende il metodo di Eratostene uno straordinario strumento didattico. Per questo lo si è voluto sperimentare tra diverse scuole, costituendo la **Rete di Eratostene** tra docenti e studenti di varie città italiane, di cui viene illustrato di seguito il metodo di lavoro.

Alle nostre latitudini i raggi solari non raggiungono mai la verticalità, ma è significativa

comunque la differenza di inclinazione dei raggi osservati da due località poste una a Nord e l'altra a Sud dell'Italia, all'incirca sullo stesso meridiano; se si misura simultaneamente l'altezza del Sole in dette località si possono confrontare i due risultati ed analizzarli per molteplici attività didattiche.

Ovviamente è significativa la misurazione nel momento della culminazione del Sole, cioè nel **mezzogiorno solare** vero del luogo.¹

L'altezza del Sole si può misurare sostanzialmente con l'ombra proiettata da uno stilo verticale o gnomone. E' necessaria la costruzione di semplici strumenti, scelti fra alcuni di quelli proposti in questo libro e già sperimentati, oppure ideati appositamente dai partecipanti.

Nella sezione **Strumenti 2S** sono illustrate diverse soluzioni, a vari livelli di complessità.

In ogni caso, le scelte dello strumento, dei tempi e dei modi rimangono a discrezione dei singoli insegnanti in base al livello delle classi e agli accordi tra i partecipanti alla misurazione.

Dalla differenza delle altezze misurate e conoscendo la distanza delle due località di osservazione, con dei semplici calcoli si può ottenere una stima della circonferenza terrestre.

I risultati e le documentazioni delle esperienze effettuate vengono pubblicati sistematicamente nel sito della Rete di Eratostene www.vialattea.net/eratostene.

Dato lo scopo didattico dell'esperienza e tenendo conto della realtà attuale, la proposta di rivisitazione del metodo ricorre necessariamente ad alcuni *compromessi*, che però non inficiano la sua validità :

- si misurano le distanze tra le località delle scuole utilizzando gli atlanti geografici;
- nel caso in cui le due località non siano esattamente sullo stesso meridiano (situazione molto comune e inevitabile) si utilizzano le distanze tra paralleli piuttosto che quelle tra le località come esplicitato sul sito alla pagina <http://www.vialattea.net/eratostene/cosmimetria/distanze.html>; se è necessario ridurre i tempi dell'esperienza si stabilisce il mezzogiorno solare vero con il *modulo di calcolo* che si trova all'indirizzo <http://www.vialattea.net/eratostene/astrocalc/sole1.html>.

Mettersi d'accordo per le misure

Per sperimentare il metodo di Eratostene in rete è necessaria dunque una collaborazione tra scuole poste a Nord e a Sud dell'Italia, ma all'incirca sullo stesso meridiano. Il gemellaggio è stabilito dalle scuole stesse facendo riferimento alla pagina web contenente l'elenco dei partecipanti <http://www.vialattea.net/eratostene/scuole/index.html>, utilizzando la apposita *mailing-list* e con l'aiuto del coordinatore della Rete di Eratostene.

Le due o più scuole gemelle si accordano per decidere il giorno nel quale effettuare una misurazione. Per facilitare tutte queste operazioni si propongono degli "appuntamenti collettivi" che in genere si sono concentrati in passato nelle Settimane Nazionali dell'Astronomia proposte dal MIUR e che nel 2006 si terrà dal 20 al 26 marzo.

Dal 2003 collabora con la Rete la gemella francese *Sur le pas d'Eratosthène* con scambi di informazioni e misurazioni <http://www.inrp.fr/lamappp/eratos/2004/>.

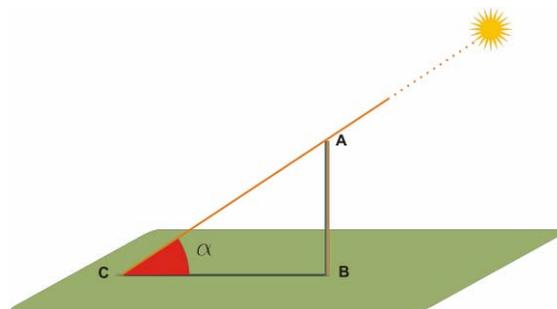


fig.2 L'angolo α indica l'altezza del Sole sull'orizzonte (N.Scarpel)

Costruire gli strumenti ed eseguire la misurazione

Il metodo di misurazione si basa sulla proiezione dell'ombra di un gnomone verticale sul piano orizzontale. La verticalità e l'orizzontalità sono due condizioni molto importanti per limitare gli errori di misura. Lo scopo è quello di misurare l'altezza del Sole rispetto all'orizzonte (angolo α) (fig.2).

¹ vedi Scheda Didattica 3SD Tempo del Sole e tempo dell'orologio

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

La misurazione deve avvenire nel **mezzogiorno solare vero**. Esso è determinato dal momento del transito del Sole nel meridiano del luogo, la cui relazione temporale con l'ora civile dipende **dalla longitudine del luogo e dall'Equazione del tempo**², come illustrato nella Scheda didattica 3SD.

Esso può essere determinato anche sperimentalmente individuando il passaggio dell'ombra di uno gnomone sulla **linea meridiana**³.

Scambiare i dati

I risultati delle misurazioni effettuate vanno adeguatamente elaborati e rimane a discrezione di ogni singolo docente la scelta del livello di elaborazione dei dati a seconda del tipo di scuola e di lavoro che si intende svolgere (fig. 3).

Il valore dell'altezza del Sole individuato viene inviato al coordinatore, per mezzo del modulo on-line predisposto sul sito della Rete per la raccolta dei dati.

Si confronta quindi il dato ottenuto con quello della scuola "gemella" per calcolare la circonferenza terrestre.

Calcolo della circonferenza terrestre

La distanza **d** tra due località si può determinare utilizzando una carta geografica con rapporto di scala minimo di 1:3.000.000. Poiché quasi mai le due località sono allineate lungo uno stesso meridiano, se la distanza in longitudine non è consistente, si può considerare solo la distanza tra i loro paralleli.

I valori dell'altezza del Sole trovati dalle due scuole "gemelle" al mezzogiorno solare della loro località si sottraggono e si ottiene così la differenza $\Delta\alpha$ tra esse.

La lunghezza **x** del Meridiano terrestre o Circonferenza terrestre, espressa in chilometri, si ottiene risolvendo la proporzione:

$$360 : \Delta\alpha = x : d$$

da cui $x = (360 \cdot d) : \Delta\alpha$



fig.3 L'uso di numerosi gnomoni può limitare l'errore casuale di una singola misurazione (G.Castelli).

Una traccia di lavoro in rete

Si esemplifica di seguito, passo per passo, una situazione tipica di misurazione, di elaborazione dei dati e di confronto dei dati ottenuti da due scuole, come *traccia di lavoro utile anche per tutte le altre proposte di misurazioni in rete presentate in questo libro*.

a - Gli accordi e gli appuntamenti

Due scuole, ad esempio una di Cuneo e una di Palermo, decidono di effettuare assieme una misurazione dell'altezza del Sole accordandosi per il 10 aprile 2004.

I rispettivi insegnanti hanno individuato a priori il livello di complessità con cui lavorare con gli studenti.

L'accordo tra le due scuole può essere stabilito via e-mail o via telefono consultando sul sito della **Rete di Eratostene** la pagina delle scuole disponibili; il coordinatore si occupa di aggiornare la pagina degli appuntamenti in modo tale da favorire anche l'aggregazione di eventuali altre scuole e

² Vedi Appendice Tabella Equazione del tempo

³ Vedi Strumenti 1S Trovare la direzione NS

comunica l'appuntamento a tutti per mezzo di un messaggio alla *mailing-list*. Gli studenti e i docenti delle due scuole possono comunicare tra loro anche per mezzo della *chat* predisposta sul sito della Rete di Eratostene per decidere, ad esempio, una scelta comune degli strumenti di misurazione⁴.

b - Programmare l'ora della misurazione

I dati di longitudine delle due città sono: Cuneo $7^{\circ} 32' 18''$ E e Palermo $13^{\circ} 21' 11''$ E. La prima cosa da fare è determinare il momento di culminazione del Sole nelle due città cioè il mezzogiorno solare vero. Se non si vogliono fare tutti i calcoli, si apre la pagina del modulo di calcolo della Rete di Eratostene www.vialattea.net/eratostene/astrocalc/sole1.html e si inseriscono i dati richiesti.

Per Cuneo:

anno: 2004 mese: 4 giorno: 10 ora legale estiva: Sì Longitudine $7^{\circ} 32' 18''$ E

Il fuso orario -1 e il pulsante di scelta per la longitudine E non devono essere modificati dall'utente di una località italiana.

Si legge subito dopo che il mezzogiorno solare vero, in quel giorno, a **Cuneo**, si ha alle $13^h 31^m$ circa, ora civile degli orologi.

Lo stesso procedimento si segue per **Palermo**, con la longitudine relativa, e si ricava che il mezzogiorno solare invece è alle $13^h 8^m$ circa.

In effetti, dato che Palermo si trova più a est di Cuneo, il mezzogiorno solare cade 23 minuti prima che a Cuneo.

c - Effettuare la misurazione

Le scuole si organizzano ognuna in 7 gruppi e per ogni gruppo preparano uno gnomone costruito con un foro gnomonico⁵.

L'altezza del foro gnomonico, rispetto al piano di appoggio, è uguale per tutte le postazioni (es. 40 cm).

Verso le $12^h 30^m$ i gruppi escono in cortile o sul terrazzo della scuola, ognuno portando un banco. Usando la livella sistemano i banchi in modo che il loro piano risulti stabile e il più orizzontale possibile e misurano con la massima precisione possibile le altezze dei fori gnomonici, trascrivendo i dati su una tabella.

Fissano gli strumenti con nastro adesivo e segnano con precisione la posizione della base dello gnomone per le successive misure di lunghezza dell'ombra. Mentre aspettano il **mezzogiorno solare** possono già cominciare a tracciare le posizioni della macchiolina di luce proiettata dal foro in modo da abituarsi allo spostamento del Sole e all'identificazione del centro dell'ellisse luminosa proiettata dal foro gnomonico.

La successione dei punti tracciati a intervalli di 2 o 3 minuti descrive un ramo di iperbole con una leggera concavità verso il Nord, quasi rettilineo data la prossimità dell'equinozio primaverile.

Alle $13^h 8^m$ a Palermo e alle $13^h 31^m$ a Cuneo si identifica il centro della macchiolina di luce per misurare la lunghezza dell'ombra, che è la distanza tra esso e il piede della verticale del foro gnomonico.

d-Elaborazione dei dati

Nella prima elaborazione dei dati di seguito indicata non si tiene conto dell'errore, ma ad un livello di maggiore complessità si può tener conto dell'incertezza della misura.

I risultati ottenuti a Cuneo sono riportati in tabella 1.

Dato che il goniometro fornisce la sensibilità di 1 grado, i valori di angolo sono stati espressi come numeri interi.

⁴ vedi Strumenti 2S

⁵ vedi S.2

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Si calcola quindi :

media aritmetica degli angoli = $(54+54+52+54+53+52+54)^\circ : 7 = 53,285^\circ$
che con l'arrotondamento⁶ corrisponde ad altezza del Sole a Cuneo = 53°
Analogamente si procede a Palermo, dove si ottiene altezza del Sole a Palermo = 60° ,
quindi la differenza di altezza del sole, $\Delta\alpha$, tra Palermo e Cuneo è

$$\Delta\alpha = 60^\circ - 53^\circ = 7^\circ$$

Si determina ora la distanza in km tra le due località. In questo caso la differenza di longitudine è notevole, ma la misura che interessa è quella tra le latitudini delle due località.

Usando una carta con scala 1:3.000.000 la distanza tra le latitudini, misurata con un righello, risulta essere di 232 mm.

Si calcola la distanza tra le due località

$$d = (3.000.000 \cdot 232) \text{ mm} = 696.000.000 \text{ mm} = 696 \text{ km}$$

Poiché

$$360 : \Delta\alpha = x : d \quad \text{si ricava} \quad x = (360 \cdot d) : \Delta\alpha$$

per cui la misura x del Meridiano terrestre ottenuta è :

$$\text{Meridiano terrestre} = (360 : 7) \cdot 696 \text{ km} = 35.496 \text{ km}$$

Se invece si tiene conto dell'errore nelle misure precedenti, considerando $\pm 1^\circ$ negli angoli e $\pm 1\text{mm}$ nelle distanze sulla carta, il valore finale ottenuto è $39.000 \pm 11.000 \text{ km}$. Il procedimento utilizzato è quello illustrato di seguito nell'esempio di misurazione effettuata da Scalea (1SDE).

Il valore reale stimato del Meridiano terrestre è di 40.009,152 km.

Analizzare l'errore e individuare dove vanno perfezionate le misure per correggerlo, può essere un interessante percorso di approfondimento delle applicazioni del metodo scientifico.

Postazione	altezza del foro gnomonico in mm	lunghezza dell'ombra in mm	α = altezza del Sole in gradi
n.1	412	300	54
n.2	424	310	54
n.3	398	304	52
n.4	402	290	54
n.5	430	327	53
n.6	350	267	52
n.7	388	278	54

tab.1 Dati di misurazioni dell'altezza del Sole a Cuneo

⁶ L'arrotondamento va fatto in eccesso se la cifra più a destra è maggiore di 5 e in difetto nel caso contrario

1SDE Misurazione del Meridiano terrestre da Scalea (CS)

All'iniziativa hanno aderito gli alunni delle classi B ed F della Scuola Media "G.Caloprese" di Scalea (CS), adeguatamente preparati e guidati dai loro insegnanti nell'a.s.2001/2002 .

Gli studenti hanno utilizzato **gnomoni di bastone** a sezione circolare, supportati nella parte inferiore da una stabile base di appoggio a treppiedi, facilmente adattabile a qualsiasi superficie del terreno. E' stato così facile controllare la verticalità dello gnomone con una livella ad acqua e al tempo stesso eliminare il filo a piombo, la cui tenuta creava problemi di instabilità e di messa a punto. Alla sommità del bastone è stato aggiunto un segmento di legno, girevole ed annerito, a forma di T, per marcare meglio l'estremità misurabile dell'ombra.

Sono stati utilizzati anche **gnomoni di cartoncino e gnomoni di squadrette**, muniti di uno schermo nero, su cui è stato praticato un piccolo foro gnomonico con la punta del compasso, orientandoli seguendo l'inclinazione dei raggi solari per avere un'immagine pulita e luminosa sul piano orizzontale.

Gli gnomoni, perfettamente funzionali, sono stati accuratamente controllati nella verticalità e nella misura dell'altezza del foro a partire dal piede.

Scuola capofila : Media Statale "G.Caloprese" di Scalea (CS)

Data: dal 6 al 20 aprile 2002

Docenti: prof. Giuseppe Castelli e prof.Lucia Soccio



fig.1 Alunni della S.M.S."Caloprese" di Scalea alle prese con gli gnomoni (G.Castelli)

Misura della distanza terrestre tra due località

Tramite la Rete di Eratostene sono stati fissati appuntamenti con altre scuole di varie località italiane come si evince dalla tabella 1.

Utilizzando una carta geografica in scala 1:2.000.000 gli alunni hanno misurato la distanza tra i paralleli delle due località delle scuole gemelle, considerandole virtualmente sullo stesso meridiano.

Hanno misurato la distanza grafica (in mm) tra le località prese in considerazione e la hanno convertita in distanza reale in km, tenendo conto di un possibile errore di ± 1 mm.

Ad esempio, tra Scalea e Dogliani la distanza reale si è ottenuta moltiplicando la distanza grafica, misurata sulla carta geografica, di (524 ± 1) mm, per il valore della scala, $1 / 2.000.000$, per cui

$$\text{Distanza reale} = (524 \pm 1) \text{ mm} \cdot 2.000.000 = (524 \pm 2) \text{ km}$$

	Dogliani (CN)	Lucera (FG)	Firenze	ReggioCalabria	Empoli (FI)	Gallarate (VA)
distanze in km da Scalea a	524 ± 2	187 ± 2	442 ± 2	190 ± 2	434 ± 2	651 ± 2
	Palermo	Cassino (FR)	Pescara	Montebelluna (TV)	Riposto (CT)	Sassuolo (MO)
	188 ± 2	186 ± 2	294 ± 2	664 ± 2	230 ± 2	527 ± 2

Tab.1 Distanze tra Scalea e le varie città italiane delle scuole gemelle

Condizioni del tempo e operazioni preliminari prima del transito del Sole

Le condizioni meteorologiche, complessivamente soddisfacenti durante le misurazioni, hanno consentito di operare a ciel sereno e in assenza di vento.

Gli alunni, suddivisi in gruppi, hanno occupato postazioni ben soleggiate utilizzando i banchi della classe, coperti da un foglio bianco, come base di appoggio per gli gnomoni di cartoncino e di squadrette o il pavimento per quello di bastone (fig.2 e 3).

Con una livella ad acqua hanno controllato attentamente l'orizzontalità della superficie d'appoggio e la verticalità degli gnomoni.

Transito e altezza del Sole a Scalea

Con il *modulo di calcolo on line* della Rete di Eratostene gli alunni hanno rilevato i seguenti dati:

- il transito del Sole sul meridiano locale (mezzogiorno solare vero o culminazione)
- la declinazione apparente del Sole, utile per calcolare il valore teorico dell'altezza del Sole, con la formula: $\alpha = 90 - \text{latitudine locale} + \text{declinazione}$ ⁷.

Immediatamente prima e dopo il mezzogiorno solare ciascun gruppo ha effettuato 5 misurazioni, intervallate di 3 minuti; la terza misurazione corrispondeva al momento del mezzogiorno solare vero. Il tutto è stato fatto con accuratezza e nel rispetto dei tempi. Sul foglio di carta sono stati segnati i punti in cui finiva l'ombra proiettata dallo gnomone e in corrispondenza del mezzogiorno solare è stata individuata l'ombra più corta.



fig.2 Alunni della S.M.S. "Caloprese" di Scalea verificano la verticalità del loro gnomone di bastone (G.Castelli)

Con il modulo di calcolo dell'arcotangente e, verificando i calcoli con la calcolatrice scientifica, si è calcolato l'angolo dell'altezza del Sole a Scalea, riportando sul modulo di calcolo l'altezza dello gnomone e la lunghezza dell'ombra (in mm).

La media aritmetica dell'angolo dell'altezza del Sole è stata ottenuta dalla somma di tutti i valori degli angoli divisa per il loro numero, secondo la formula

$$M\alpha = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots + \alpha_n) / n$$

È stato utile calcolare anche l'errore assoluto (o massimo), dove i dati lo riportavano, per definire la misura più probabile dell'altezza del Sole e di conseguenza quella della circonferenza del meridiano terrestre.

L'Errore assoluto (o massimo) è dato dalla semidifferenza tra l'angolo maggiore α_2 e l'angolo minore α_1 , secondo la formula

$$Ea = (\alpha_2 - \alpha_1) / 2$$

Per cui si è calcolata l'Altezza del sole secondo la formula: $\alpha = M\alpha \pm Ea$

Calcolo del meridiano terrestre tenendo conto dell'errore

Per risalire alla misura del meridiano terrestre si sono effettuati i seguenti calcoli:

1. la distanza d in linea d'aria tra le due località situate virtualmente sullo stesso meridiano.
2. la differenza $\Delta\alpha$ delle altezze del Sole tra le due località tenendo conto degli errori.

⁷ vedi Scheda Didattica 2SD e Prerequisiti 3P

3. la lunghezza C del meridiano terrestre, secondo la proporzione seguente, tenendo conto che in geometria l'angolo al centro e l'arco corrispondente sono grandezze direttamente proporzionali:

$$360 : C = \Delta\alpha : d \quad \text{da cui} \quad C = 360 \cdot d / \Delta\alpha$$

Esempio di calcolo del Meridiano con i dati di Scalea e Firenze

Altezza del sole il 19 aprile 2004 a Scalea $\alpha = 61,6^\circ \pm 0,4$ e a Firenze $\alpha = 57,3^\circ \pm 0,8$
per cui $\Delta\alpha = 4,3 \pm 1,2$

$$C_2(\text{valore massimo}) = 360 \cdot (442+2) \text{ km} / (4,3-1,2) = 51.561 \text{ km}$$

$$C_1(\text{valore minimo}) = 360 \cdot (442-2) \text{ km} / (4,3+1,2) = 28.800 \text{ km}$$

$$C(\text{probabile}) = (C_2+C_1) / 2 = (51561 \text{ km} + 28800 \text{ km}) / 2 = 40.180 \text{ km}$$

Nella successiva tabella 2 sono riportati i giorni delle misurazioni, le città delle scuole gemellate e tutti i dati con cui si è lavorato per giungere al risultato finale.

Il valore medio finale del Meridiano terrestre calcolato da Scalea è risultato essere
40.307 km

Conclusioni e riflessioni

Il valore medio finale del meridiano terrestre risulta essere di 40.307 km. Se si confronta col valore del meridiano stimato reale, 40.009 km, la misura ottenuta risulta essere veramente buona, con un errore assoluto abbastanza basso.

Va detto che nello scegliere le scuole con cui confrontare i dati si è ritenuto opportuno di non effettuare misure con località tra loro vicine e al di sotto di 180-150 km, per non incorrere in misurazioni discordanti e in errori percentuali troppo alti.

Dal punto di vista operativo una delle principali difficoltà incontrate è stata quella di assicurare alla strumentazione il dovuto livellamento e l'ortogonalità necessaria. Si è comunque operato serenamente, con precisione e nel rispetto massimo dei *tempi concessi*.

Le condizioni meteorologiche sono state complessivamente soddisfacenti durante le misurazioni e hanno consentito di operare a ciel sereno e in assenza di vento.

Ci sentiamo pertanto molto soddisfatti del risultato ottenuto e sicuramente desiderosi di ripetere in avvenire questa simpatica esperienza astronomica (fig.3).

Infine siamo lieti se, l'esperienza fatta dalla nostra scuola, potrà risultare utile traccia a coloro che per la prima volta si accingono a misurare la circonferenza del Meridiano terrestre, adeguandola al metodo ideato da Eratostene.



fig.3 Foto di gruppo alla fine del lavoro (G.Castelli)

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Data delle misurazioni	Altezza Sole 1° località (gradi)	Altezza Sole 2° località (gradi)	Differenza $\Delta\alpha$ (gradi)	Distanza da Scalea (km)	Meridiano (km)
6 aprile 2002	Scalea 57,03	Lucera (FG) 55,4	1,63	187	41.300
9 aprile 2002	Reggio 59,6	Scalea (CS) 57,9	1,7	190	40.235
10 aprile 2002	Palermo 60,2	Scalea (CS) 58,5	1,7	188	39.812
15 aprile 2002	Scalea 60,06	Lucera (FG) 58,4	1,66	187	40.554
idem	Scalea 60,06	Cassino (FR) 58,3	1,7	186	39.388
16 aprile 2002	Riposto (CT) 62,62	Scalea (CS) 60,6	2,02	230	40.990
17 aprile 2002	Scalea 60,825±0,1	Dogliani (CN) 56,2	4,625 ± 0,1	524 ± 2	40.809
	Scalea 60,825 ± 0,1	Firenze 56,8±0,6	4,025 ± 0,7	442 ± 2	40.797
	Scalea 60,825 ± 0,1	Gallarate (VA) 54,72± 0,5	6,105 ± 0,6	651 ± 0,2	38.774
18 aprile 2002	Scalea 60,95 ± 0,4	Empoli (FI) 56,9 ± 0,7	4,05 ± 1,1	434 ± 2	41.702
	Scalea 60,95 ± 0,4	Dogliani (CN) 56,4	4,55 ± 0,4	524 ± 2	41.796
	Scalea 60,95 ± 0,4	Sassuolo (MO) 55,9 ± 1	5,05 ± 1,4	527 ± 2	40.738
	Scalea (CS) 60,95 ± 0,4	Montebelluna (TV) 55,1 ± 0,4	5,85 ± 0,8	664 ± 2	41.657
19 aprile 2002	Scalea (CS) 61,6	Cassino (FR) 5 9,9	1,7	186	39.388
	Scalea (CS) 61,6 ± 0,4	Firenze 57,3 ± 0,8	4,3 ± 1,2	442 ± 2	40.180
	Scalea (CS) 61,6 ± 0,4	Sassuolo (MO) 56,6 ± 0,4	5 ± 0,8	527 ± 2	38.965
	Scalea (CS) 61,6 ± 0,4	Pescara 58,8 ± 0,2	2,8 ± 0,6	294 ± 2	39.677
20 aprile 2002	Scalea (CS) 61,7 ± 0,4	Dogliani (CN) 56,8	4,9 ± 0,4	524 ± 2	38.768

tab.2 Dati utilizzati per i calcoli del Meridiano terrestre da Scalea con date, località delle scuole gemelle, relative altezze e differenze $\Delta\alpha$ del Sole e distanze da Scalea.

2 SD ALTEZZA DEL SOLE E LATITUDINE

Altezza del sole sull'orizzonte nel corso dell'anno

Per il moto di Rivoluzione che la Terra compie in un anno intorno al Sole, ad un osservatore che sta sulla Terra il Sole sembra spostarsi ogni giorno di circa 1° lungo l'**Eclittica**, da Ovest ad Est.

E' uno spostamento percepibile se si osservano le costellazioni dello Zodiaco nel cielo notturno; infatti di sera in sera, alla stessa ora dopo il tramonto, nuove stelle e costellazioni compaiono ad Est, mentre altre scompaiono a Ovest e nell'arco di un anno si possono ammirare tutte le costellazioni dello Zodiaco.

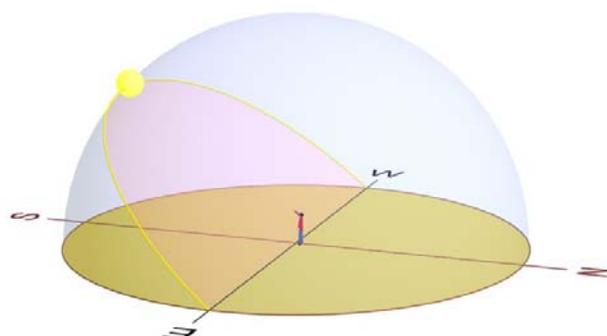
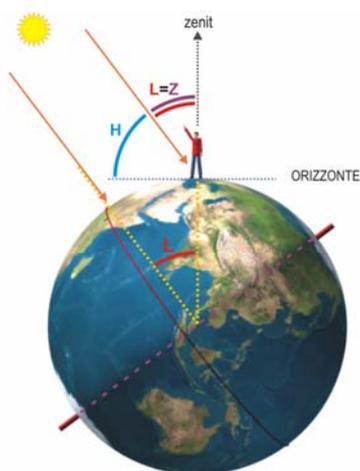
L'inclinazione dell'Asse Terrestre rispetto all'Asse dell'Eclittica è di **23° 27'**, per cui anche i rispettivi Piani ad essi perpendicolari, cioè quello dell'Equatore celeste e dell'Eclittica, si intersecano tra loro mantenendo lo stesso angolo. La linea di intersezione tra i due piani ha i suoi estremi nel Punto γ o punto d'Ariete e nel Punto ω o Punto dell'Equinozio di autunno.

L'Eclittica, e quindi le posizioni che il Sole sembra occupare nel corso di un anno, risulta essere per metà sopra l'Equatore celeste (lo chiameremo *ramo ascendente dell'Eclittica*) e per metà sotto (lo chiameremo *ramo discendente dell'Eclittica*) a partire dalla linea di intersezione dei due piani.

All'**Equinozio di primavera** il Sole si trova nel **Punto γ** , con declinazione $0^{\circ 1}$. Per l'osservatore di una qualunque località della Terra esso sembra spostarsi, nel suo percorso diurno, lungo l'**Equatore celeste**² nel cielo, da Est a Ovest in senso orario verso Sud nell'Emisfero boreale, in senso antiorario verso Nord in quello australe.

I raggi del sole arrivano perpendicolari all'asse terrestre, per cui il dì è uguale alla notte in tutte le località della terra, tranne ai Poli, dove rimane sull'orizzonte tutto il giorno in quanto l'Equatore celeste coincide col piano dell'orizzonte³ (fig.1 e 2).

Agli Equinozi



L = latitudine H = altezza del Sole Z = distanza zenitale

fig.1 Il Sole ha $\delta = 0^{\circ}$ e illumina la Terra con i suoi raggi perpendicolari all'asse terrestre L = Z (N.Scarpel)

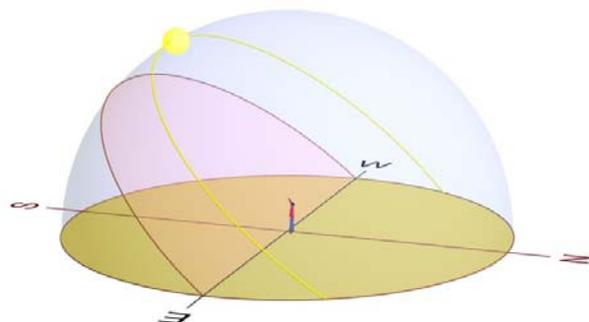
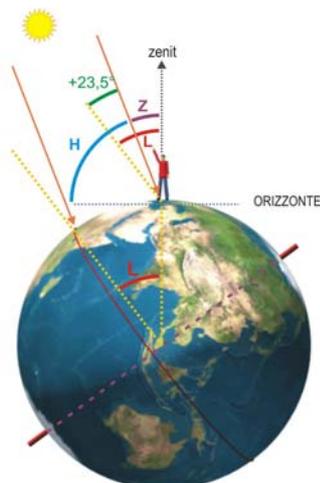
fig.2 Il Sole percorre sull'orizzonte di una località dell'emisfero boreale un arco diurno da E a W verso Sud lungo l'Equatore celeste (N.Scarpel)

¹ Vedi Prerequisiti 4P

² Vedi Prerequisiti 1P e 4P

³ Vedi Modellino didattico "Il sole di Tolomeo sul mondo copernicano"

Al solstizio d'estate



L= latitudine H = altezza del Sole Z = distanza zenitale

fig.3 Il Sole si è spostato verso Nord dall'Equatore celeste di un angolo di declinazione $\delta = +23^\circ 27'$ per cui $L = Z + 23,5^\circ$

(N.Scarpel)

fig.4. Il Sole percorre sull'orizzonte dell'emisfero boreale un arco diurno paralleli all'Equatore celeste, spostato verso Nord di $23^\circ 27'$

(N.Scarpel)

Dall'Equinozio di primavera al **Solstizio d'estate** il Sole si sposta lungo il ramo ascendente dell'Eclittica, fino a raggiungere la sua massima **declinazione** positiva di **$+23^\circ 27'$** ; pertanto nel cielo di ogni località percorre archi diurni quasi **paralleli all'Equatore celeste**, sempre più **spostati verso Nord**.

Nell'emisfero boreale il dì è via via più lungo della notte mentre succede il contrario nell'emisfero australe (fig.3 e 4).

Dal Solstizio d'estate **all'Equinozio d'autunno** il sole si sposta in senso inverso sul ramo ascendente dell'Eclittica fino a raggiungere il **Punto ω** e di nuovo la declinazione 0° ; ripercorre quindi a ritroso le sue posizioni nel cielo precedenti il solstizio estivo.

Gli archi diurni sono sempre più spostati sull'orizzonte verso Sud, fino all'Equinozio di autunno, quando di nuovo l'arco diurno del sole coincide con l'Equatore celeste e il dì è uguale alla notte in tutte le località tranne ai Poli (fig.1).

Dall'Equinozio di autunno al **Solstizio d'inverno** il Sole si sposta lungo il ramo discendente dell'Eclittica, fino a raggiungere la sua minima **declinazione (δ)** negativa di **$-23^\circ 27'$** ; percorre sempre archi diurni quasi paralleli all'Equatore celeste di ogni località, di giorno in giorno più spostati verso Sud; nell'emisfero boreale il dì è progressivamente più corto rispetto alla notte, mentre succede il contrario nell'emisfero australe (fig.5 e 6).

Dal Solstizio invernale all'Equinozio di primavera il Sole si sposta in senso inverso al percorso precedente, sul ramo discendente dell'Eclittica fino al Punto γ ; di nuovo sembra tornare indietro rispetto alle sue posizioni nel cielo, con archi diurni sempre più spostati verso Nord nel nostro emisfero fino a raggiungere la posizione dell'Equinozio di primavera (fig.1 e 2).

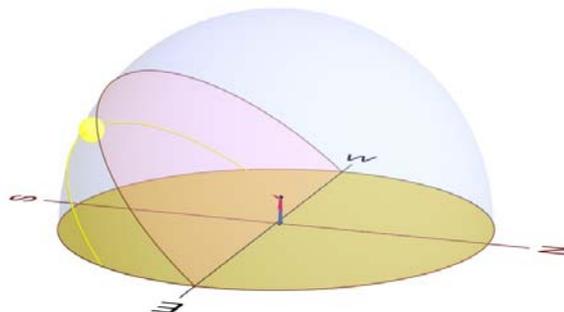
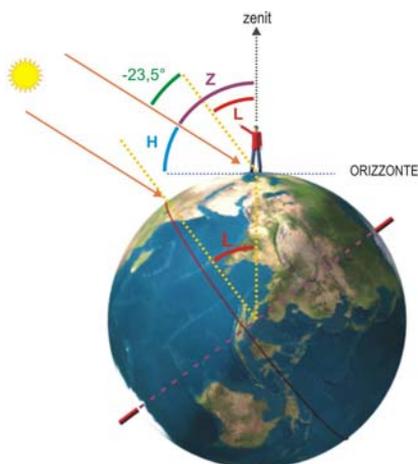
E il ciclo annuale del sole ricomincia.

Ricapitolando: il Sole agli **Equinozi** percorre **l'Equatore celeste** di un luogo; nel semestre estivo percorre archi diurni spostati, rispetto all'Equatore celeste, verso Nord di un angolo uguale alla declinazione del sole, nel **semestre invernale** percorre archi diurni spostati, rispetto all'Equatore celeste, verso Sud sempre di un angolo uguale alla declinazione del sole.

Il Modellino didattico **"Il sole di Tolomeo sul mondo copernicano"**⁴ è utile per visualizzare i percorsi del Sole sull'orizzonte alle varie latitudini e stagioni, *a partire dal punto di vista del nostro emisfero*.

⁴ vedi Strumenti 4S

Al solstizio d'inverno



L = latitudine H = altezza del Sole Z = distanza zenitale

fig.5 Il Sole scende sotto l'Equatore celeste di un angolo di declinazione $\delta = -23^{\circ} 27'$ per cui $L = Z - 23,5^{\circ}$ (N.Scarpel)

fig.6 Il Sole percorre sull'orizzonte nell'emisfero boreale un arco diurno parallelo all'Equatore celeste spostato verso Sud di $23^{\circ} 27'$ (N.Scarpel)

Misurare la latitudine di un luogo con l'altezza del Sole

E' evidente che l'**altezza** del Sole α nel momento della sua culminazione, cioè al mezzogiorno solare vero, dipende dalla sua **declinazione** e dalla **latitudine** del luogo di osservazione.

Si è detto che l'*Equatore celeste è perpendicolare all'Asse terrestre* e, nel cielo di ogni località, occupa sempre la **stessa posizione**⁵: una semicirconferenza che va da Est ad Ovest e che a Sud, nel **nostro emisfero**, ha una altezza sull'orizzonte uguale al complementare della latitudine del luogo, la **colatitudine** (90° - latitudine)

Per cui l'altezza del Sole α alle nostre latitudini corrisponde ad

si ha che **$\alpha = 90 - \text{latitudine} + \text{declinazione}$**
 da cui si ricava **$\text{latitudine} = 90 - \alpha + \text{declinazione}$**

sapendo che **$\alpha = \text{colatitudine} + \text{declinazione (del Sole)}$** ;
 $\text{colatitudine} = 90 - \text{latitudine}$

Il complementare dell'altezza è chiamato **distanza zenitale** ($90^{\circ} - \alpha$) e quindi la relazione si può scrivere anche in questo modo:

$\text{latitudine} = \text{distanza zenitale} + \text{declinazione}$

Per calcolare la latitudine del luogo è quindi sufficiente misurare l'altezza del Sole nel momento del mezzogiorno solare vero e conoscere il dato della sua declinazione (fig.7).

La **declinazione del Sole** varia nel corso dell'anno con regolarità ed in Appendice 1A sono riportati i valori della declinazione del Sole di quasi tutti i giorni dell'anno insieme a quelli dell'Equazione del tempo.

Si può semplificare l'esperienza se si esegue la misurazione dell'altezza del sole altezza in giorni particolari dell'anno, come agli Equinozi o ai Solstizi.

⁵ vedi Prerequisiti 1P

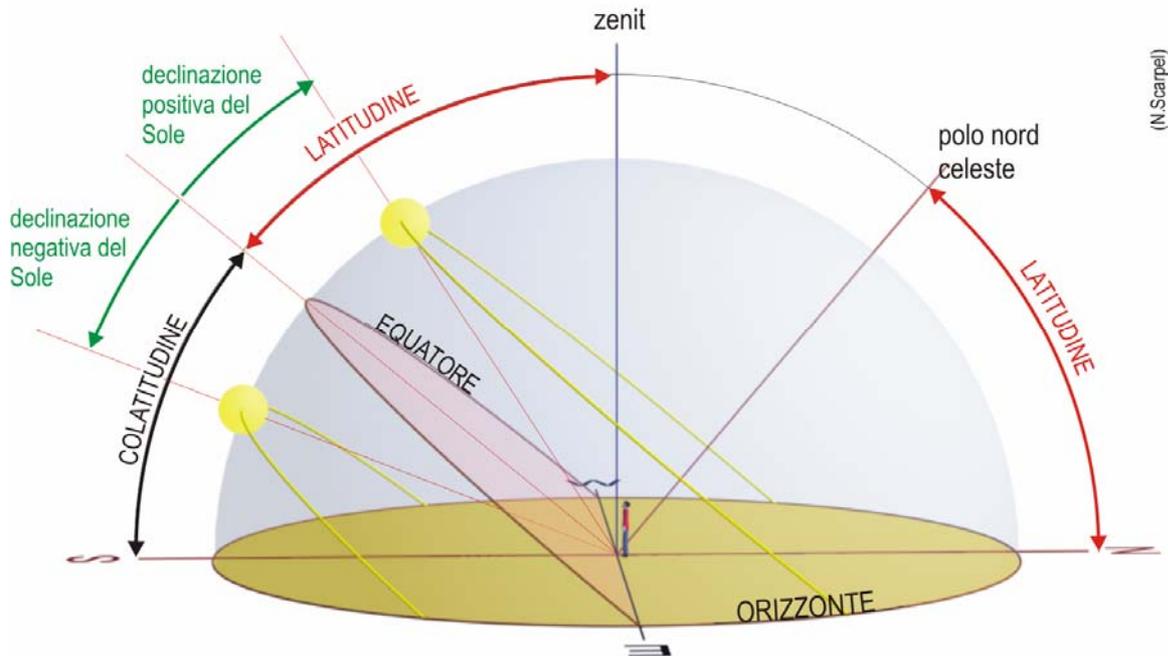


fig.7 Il percorso del Sole in un anno nel cielo di un osservatore di una località con **latitudine 50° N** (N.Scarpel)

Agli **Equinozi** (intorno al 21 marzo e al 23 settembre) il Sole si trova sull'equatore celeste, la sua declinazione è 0° e quindi è sufficiente conoscere il dato di altezza (fig.1 e 2):

$$\text{latitudine} = 90 - \alpha$$

oppure

$$\text{latitudine} = \text{distanza zenitale}$$

Al **Solstizio d'estate** (intorno al 21 giugno) la declinazione è massima $+23,5^\circ$ (fig.3 e 4), mentre al **Solstizio d'inverno** (intorno al 22 dicembre) è minima $-23,5^\circ$ (fig.5 e 6).

Quindi:

$$\begin{aligned} \text{latitudine}_{\text{se}} &= \text{distanza zenitale} + 23,5^\circ \text{ (Solstizio d'estate)} \\ \text{latitudine}_{\text{si}} &= \text{distanza zenitale} - 23,5^\circ \text{ (Solstizio d'inverno)} \end{aligned}$$

Per le località dell'Emisfero **australe** vale lo stesso ragionamento ma va tenuto presente che il percorso diurno del Sole avviene in senso **antiorario da Est ad Ovest verso Nord**; inoltre le **stagioni effettive sono invertite**, per cui il Sole è più alto sull'orizzonte in inverno e viceversa è più basso in estate; agli Equinozi percorre l'Equatore celeste del luogo come nell'altro emisfero (fig.8).

Pertanto agli **Equinozi**

$$\begin{aligned} \text{latitudine} &= 90 - \alpha \\ \text{latitudine} &= \text{distanza zenitale} \end{aligned}$$

ai **Solstizi** invece

$$\begin{aligned} \text{latitudine}_{\text{se}} &= \text{distanza zenitale} - 23,5^\circ \text{ (Solstizio d'estate)} \\ \text{latitudine}_{\text{si}} &= \text{distanza zenitale} + 23,5^\circ \text{ (Solstizio d'inverno)} \end{aligned}$$

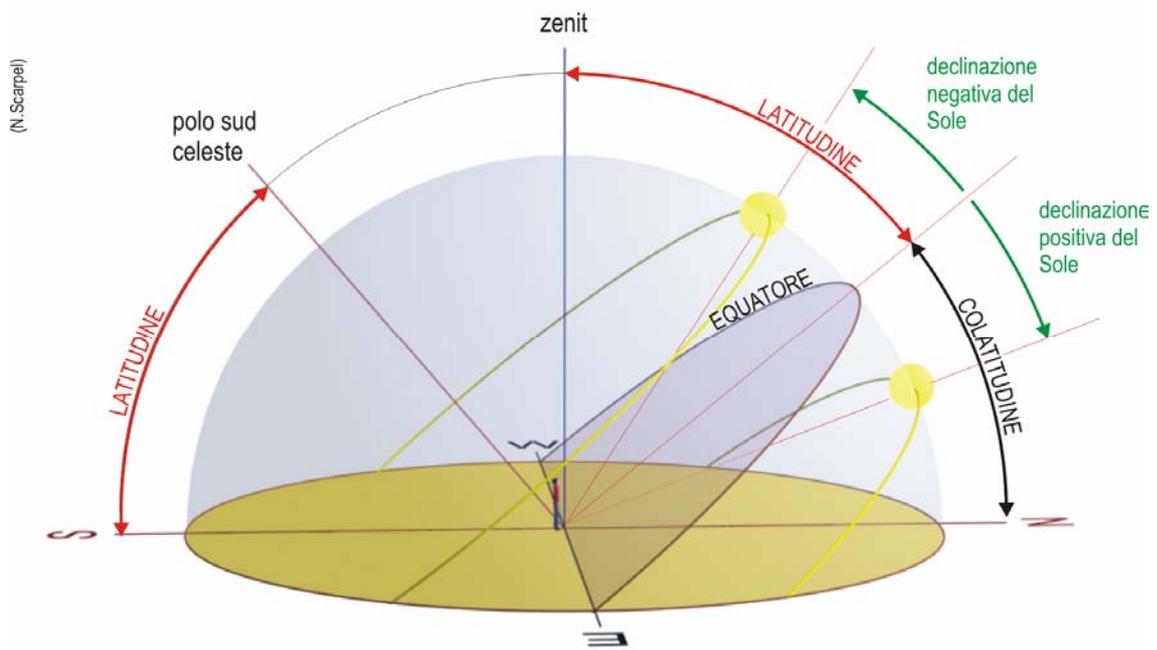


fig.8 I percorsi del Sole in un anno nel cielo di un osservatore di una località con **latitudine 50° S**
(N.Scarpel)

2SDE Misura della latitudine con l'altezza del sole a Lucera (FG)



Scuole: Liceo Scientifico "Onorato" e Liceo Classico "Borghi"- Lucera (FG)
 Data : 23 settembre 2002
 Docente Referente: prof.Lucia Ciuffreda

Il 23/09/02 la culminazione del Sole a Lucera (FG) era prevista alle 12h 51^m 5^s

Strumenti Usati: gnomoni di cartoncino

Postazioni: n. 7

Per il calcolo è stata utilizzata la calcolatrice scientifica e la formula :

$$\alpha = \arctg (h/b)$$

dove α = altezza del Sole

h = altezza dello gnomone

b = lunghezza dell'ombra.

fig.1 Alunni misurano l'altezza del sole a Lucera (FG) (L.Ciuffreda)

I dati ottenuti sono riportati in Tabella 1.

Classi	Postazione	h altezza dello gnomone (cm)	b lunghezza dell'ombra (cm)	α altezza del Sole (gradi)
3C Liceo Classico	1	20	17,2	49,2
	2	18	15,7	48,8
	3	19	16,4	49,1
5c Liceo Scientifico	4	21,2	18,7	48,5
5D Liceo Scientifico	5	18	15,3	49,6
	6	18	15,9	48,5
	7	18	15,6	49
				media calcolata 48,95714

Tab.1 Dati raccolti dalle 7 postazioni delle scuole di Lucera

Sono stati successivamente convertiti i valori decimali trovati,d, in sessagesimali, x, secondo la proporzione

$$d:100= x : 60 \text{ da cui } x = d \cdot 60/100$$

Errore massimo: $(49.6^\circ - 48.5^\circ) / 2 = 0,5^\circ = 30'$

Valore sperimentale trovato:

latitudine di Lucera (FG) $90^\circ - 48,95^\circ = 41,15^\circ$ corrispondente a $41^\circ 09'$

Valore teorico: latitudine di Lucera (FG) $41^\circ 30' 27''$

Errore di misurazione $20' 33''$

1 Tempo del Sole e tempo degli orologi

La durata del **giorno solare**, cioè il tempo che intercorre tra due passaggi del Sole in meridiano in una stessa località, non è costante nel corso dell'anno e per questo si è reso necessario introdurre un giorno convenzionale di durata costante, il **giorno medio** di 24 ore.

La differenza tra il **tempo solare** e il **tempo medio** è detta **Equazione del tempo**.

Il tempo dell'orologio, *tempo medio del fuso o tempo civile*, è regolato in base al meridiano centrale di un fuso ed è lo stesso per tutte le località dello stesso fuso, a prescindere dalla longitudine. Invece il *tempo solare vero*, indicato dall'ombra di un gnomone su un orologio solare, è diverso se osservato simultaneamente da due località di diversa longitudine, anche se dello stesso fuso.

E' necessario quindi considerare una **correzione di longitudine** per stabilire la relazione tra il *tempo solare* e il *tempo medio del fuso*.

Pertanto per ricavare il *tempo solare o tempo vero locale*, t_v , dal *tempo medio del fuso o tempo civile*, t_m e viceversa, si devono applicare due correzioni, quella dell'*Equazione del tempo* E_t e quella della *Correzione di longitudine* C .

Equazione del tempo

Per mezzo di un orologio solare è possibile stabilire il momento del transito del Sole al Meridiano del luogo¹ di una data località, cioè stabilire il momento del **mezzogiorno solare vero locale**. Le ore di un orologio solare indicano le posizioni effettive del sole nel suo moto diurno sull'orizzonte del posto.

Se si misurano gli intervalli di tempo tra due successivi transiti del Sole allo stesso meridiano, i *giorni solari veri*, si scopre che non sono intervalli uguali, bensì variano gradualmente durante l'anno.

Ciò dipende dal **moto apparente annuo del Sole** che non è uniforme ma **varia** provocando di conseguenza la variazione della lunghezza dei giorni solari veri.

Questa variazione dipende da due fattori:

1) La Terra non si muove di moto circolare uniforme attorno al Sole, ma percorre **un'orbita ellittica** e, in armonia con la seconda legge di Keplero, **varia continuamente la sua velocità**, che è massima in prossimità del Perielio e minima in prossimità dell'Afelio².

Di conseguenza anche il moto apparente annuo del Sole lungo l'Eclittica non è uniforme ma massimo al Perigeo e minimo all'Apogeo³.

2) Il piano dell'Eclittica è

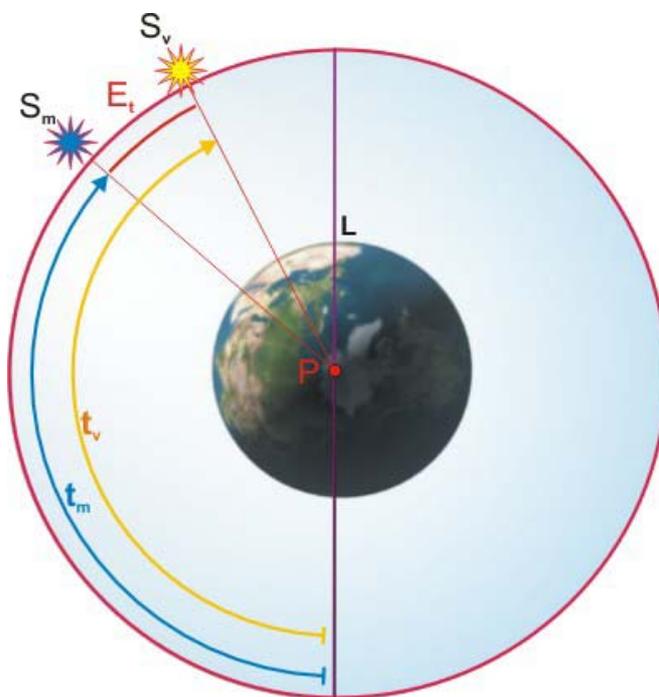


Fig.1 Sole vero e Sole medio. L'equazione del tempo E_t è la differenza tra il tempo solare vero (t_v) e il tempo solare medio (t_m) (N.Scarpel)

¹ Vedi Prerequisiti 2P e Strumenti S1

² Perielio ed afelio sono rispettivamente i punti di minima e massima distanza della Terra dal Sole sull'orbita terrestre.

³ Perigeo ed apogeo sono rispettivamente i punti di minima e massima distanza di un corpo celeste dalla Terra

inclinato di circa $23^{\circ} 27'$ rispetto al piano dell'Equatore. Di conseguenza, anche se il moto annuo apparente del Sole lungo l'Eclittica fosse costante la sua variazione in Ascensione retta non sarebbe comunque uniforme.

Questi fattori, **velocità lineare differente, curvatura ellittica dell'orbita terrestre e inclinazione dell'Eclittica rispetto all'Equatore celeste concorrono all'irregolarità del giorno solare vero**, perché a volte agiscono nello stesso senso e a volte con effetti reciprocamente opposti.

Per misurare il tempo perciò, visto che il **giorno solare vero** non è affidabile perché variabile, si è dovuto trovare la soluzione del **giorno solare medio**.

La definizione di giorno solare medio si basa su un artificio matematico: il *Sole medio*. Questo astro, inesistente ma definibile matematicamente, invece di percorrere l'Eclittica a velocità variabile come fa il Sole vero, percorre l'Equatore celeste, una circonferenza, a velocità uniforme.

Si ha di conseguenza un intervallo di tempo costante, giorno solare medio, adatto a misurare il tempo in accordo con gli strumenti meccanici, e in parziale accordo con il giorno solare vero. **Il tempo medio** segnato dall'orologio infatti presenta ogni giorno piccole discrepanze rispetto al **tempo solare vero** segnato dalle meridiane, dato che l'angolo orario del Sole medio coincide con quello del Sole vero solo **quattro giorni in un anno**.

Il Sole medio anticipa o ritarda rispetto al Sole vero nel corso dell'anno fino ad un massimo di 16 minuti circa.

La **differenza** tra il **tempo solare vero** (t_v) e il **tempo solare medio** (t_m) è un intervallo di tempo calcolabile e prevedibile chiamato **Equazione del tempo** (Et) (fig.1). Essa rappresenta l'accumulo di anticipi e ritardi dovuti a questa lieve differenza nel corso dell'anno tra il giorno solare vero e quello medio ed è uguale per tutte le località della Terra : $Et = t_v - t_m$

Perciò l'Equazione del tempo è anche la correzione da apportare al tempo medio per ottenere il simultaneo tempo vero o viceversa: $t_v = t_m + Et$ $t_m = t_v - Et$

La percezione diretta della differenza tra il tempo solare vero e quello medio si può ottenere ad esempio osservando il Sole ogni giorno sempre alla stessa ora degli orologi. Si vedrà che la sua posizione varia di giorno in giorno sia in altezza, a causa del variare della declinazione, sia "lateralmente", corrispondentemente al valore dell'Equazione del tempo, formando una figura "a 8" detta **Analemma** o Lemniscata.

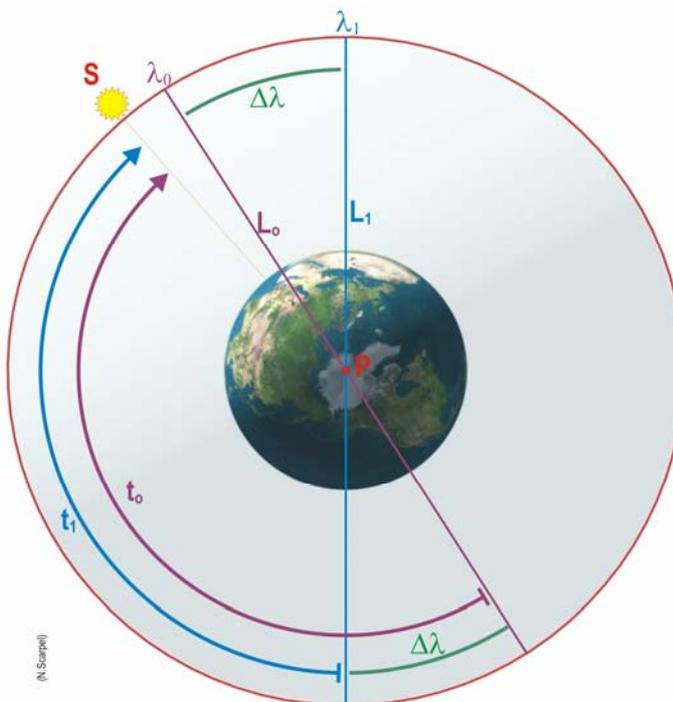


Fig.2 La Terra nella sfera celeste ed in rosso l'Equatore c. La differenza di tempo solare tra due località L_0 e L_1 corrisponde alla loro differenza di longitudine (N. Scarpel)

Differenza di tempo solare vero e differenza di longitudine

Si immagini un punto di osservazione sopra il Polo Nord che spazii sulla sfera celeste e da cui è possibile osservare contemporaneamente la posizione del Sole, S, in due località L_0 e L_1 di diversa longitudine, rispettivamente λ_0 e λ_1 . (fig.2).

Le due località sono poste indifferentemente ad una qualsiasi latitudine lungo i loro rispettivi meridiani. Se si misura simultaneamente il *tempo solare vero locale* delle due località si ottengono due diversi valori, rispettivamente: t_0 e t_1 . Tale misura di tempo si basa sull'angolo che il Sole ha percorso

a partire dal meridiano inferiore, che indica l'ora solare 0^h , cioè la mezzanotte.

I *tempi solari* di due località di differente longitudine quindi sono differenti; infatti due orologi solari segnano ore diverse per ogni località ed è maggiore l'ora della località posta più a Est; lo si può notare nella fig.3, dove l'orologio della località posta a sinistra, più a Est, segna all'incirca le $12^h 30^m$ mentre l'altro posto a destra, più a Ovest, segna all'incirca le $10,30$ (fig.3).

La differenza tra due tempi solari simultanei di due località, espressa in misura angolare, corrisponde alla differenza di longitudine $\Delta\lambda$ tra le due località⁴.

Va ricordato che *per convenzione la longitudine delle località a Est di Greenwich è considerata negativa e quella a Ovest positiva.*

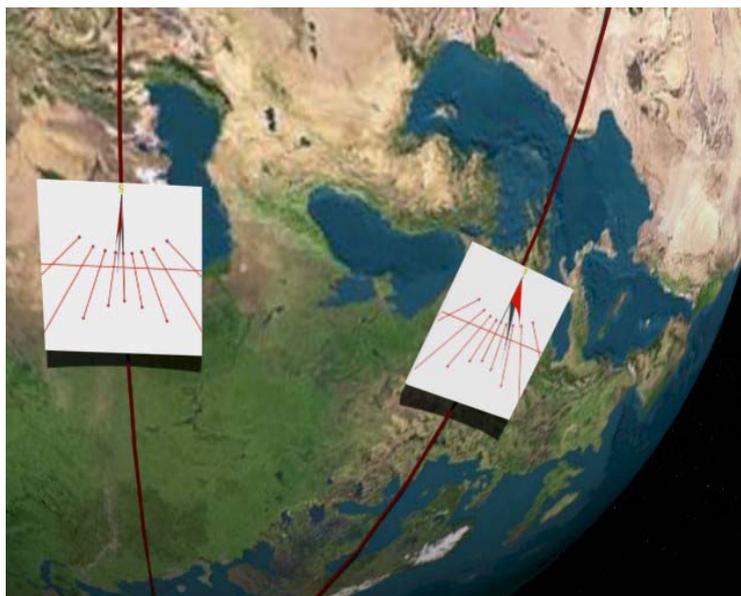


fig.3 Diversità di tempo solare tra due località poste a differente longitudine. Nella località posta a sinistra, più a Est, sono $12,30$ mentre nell'altra, più a Ovest sono all'incirca le $10,30$. (N.Scarpel)

Correzione di longitudine sul tempo medio del fuso

Quando un orologio solare che si trova in una località ad Est del meridiano centrale del fuso segna il mezzogiorno, gli orologi solari posti sul meridiano centrale indicano che il mezzogiorno deve ancora arrivare. In altre parole nelle località ad Est del meridiano centrale di un fuso si misura un tempo locale maggiore del corrispondente tempo medio del fuso; il contrario succede per le località ad Ovest del meridiano centrale.

La differenza di longitudine $\Delta\lambda$ tra la longitudine del meridiano centrale del fuso, λ_F e quella di una data località, λ_L , è un valore costante $\Delta\lambda = \lambda_F - \lambda_L$.

Tale differenza, espressa in unità di tempo, viene chiamata *correzione di longitudine C*, e va aggiunta al *tempo medio del fuso* t_f , per ottenere *tempo medio locale*; viceversa, può essere sottratta dal *tempo medio locale* per ottenere il corrispondente *tempo medio del fuso*.

$$\text{Per cui :} \quad t_{ml} = t_{mf} + C \quad t_{mf} = t_{ml} - C$$

Bisogna fare attenzione perché la differenza di longitudine può essere calcolata anche come differenza tra la longitudine della località considerata e quella media del fuso $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_F$ per cui le formule precedenti diventano $t_{ml} = t_{mf} - C$ e $t_{mf} = t_{ml} + C$

In conclusione

Se gli orologi segnano l'ora t_{mf} di tempo medio del fuso (o tempo civile), per *determinare l'ora solare locale* t , segnata in un dato giorno dell'anno da un orologio solare che si trova all'interno dello stesso fuso ma in una località di longitudine λ_L , si devono eseguire le seguenti operazioni:

- Si cerca il valore $E t^5$ dell'Equazione del tempo per quel determinato giorno dell'anno.
- Si determina la costante in longitudine C data dalla differenza $\Delta\lambda$ tra la longitudine λ_F del meridiano centrale del fuso (nel caso dell'Italia $\lambda_F = -15^\circ$) e la longitudine λ_L del luogo.

La differenza $\Delta\lambda$, espressa in gradi, va trasformata in un intervallo di tempo detta *correzione di longitudine C*, secondo la tab.1 di Prerequisiti 5P.

- Si calcola infine il tempo vero locale con la formula: $t_v = t_{mf} + E t + C$

⁴ Vedi Prerequisiti 5P tab.1

⁵ Vedi Appendice1A

Se invece si conosce il *tempo solare vero locale* mediante un orologio solare si può ricavare il *tempo medio del fuso* con la formula: $t_{mf} = t_v - Et - C$

Mezzogiorno solare

Il **mezzogiorno solare** è il momento del passaggio del Sole in meridiano, a sud nel nostro emisfero, che coincide col momento di massima altezza del Sole sull'orizzonte.

Bisogna fare attenzione: in molti testi i valori dell'Equazione del tempo sono invertiti di segno, rispetto a quelli riportati nell'Appendice di questo libro, perché ricavati dalla formula $Et^* = t_m - t_v$, adatta a ricavare il tempo medio conoscendo il tempo vero con la formula $t_m = t_v + Et$ piuttosto che viceversa. Visto che ormai nessuno più misura l'ora con gli orologi solari, i valori di Et^* si utilizzano per semplificare i calcoli del tempo vero e quindi si sommano direttamente all'ora del tempo medio se col segno + e si sottraggono se col segno -.

Invece, *in coerenza con quanto detto nei paragrafi precedenti e con i valori di Et della Appendice*, per calcolare quando si verifica il **mezzogiorno solare vero** di una data località a partire dall'ora del mezzogiorno dell'orologio o **mezzogiorno medio del fuso**, occorre applicare questa formula: $t_{vM} = h12 - C - Et$

La **Correzione di longitudine** è ricavata dalla formula $C = \lambda_F - \lambda_L$ espressa in misura di tempo.

Se **C** ha valore **negativo**, vuol dire che il meridiano centrale del fuso è più ad Est di quello della località prescelta, dove il mezzogiorno solare vero si verifica **dopo le h12** dell'orologio, salvo la correzione dell'Et.

Ad es. a Genova, longitudine $\lambda_L = -8^\circ 56'$, la correzione di longitudine

$$C = \lambda_F - \lambda_L = -15^\circ - (-8^\circ 56') = -6^\circ 04' = -24^m 16^s$$

indica il **ritardo costante** del mezzogiorno solare sulle ore 12 dell'orologio, cui va sottratto ovviamente la correzione dell'Equazione del tempo del giorno.

Viceversa se **C** ha valore **positivo** vuol dire che il meridiano centrale del fuso è più a Ovest di quello della località prescelta, e il Mezzogiorno solare si verifica prima delle h12 dell'orologio, salvo l'Et.

Ad es. a Lecce, longitudine $\lambda_L = -18^\circ 10'$, la correzione di longitudine

$$C = \lambda_F - \lambda_L = -15^\circ - (-18^\circ 10') = +3^\circ 10' = 12^m 40^s$$

indica l'**anticipo costante** del mezzogiorno solare sulle ore 12 dell'orologio, cui va sottratta l'Equazione del tempo del giorno.

2 Misure di differenze di longitudine con l'ora solare

Utilizzando l'ora solare si può determinare la differenza di longitudine che separa due località, anche se non si trovano alla stessa latitudine. E' una delle attività sperimentate nella Rete di Eratostene. Si propongono qui due diversi metodi per determinarla:

Il metodo del transito del Sole in meridiano

Il metodo del confronto dell'ora solare con l'ora dell'orologio mediante meridiane di carta.

Metodo del transito del Sole al meridiano

Due scuole concordano il giorno per effettuare la misurazione. Per prima cosa devono trovare la direzione N-S o meridiano del luogo in cui operano. Essa può essere facilmente individuata con uno dei metodi indicati negli Strumenti 1S⁶.

Ogni scuola determina il momento del mezzogiorno solare vero locale nella propria città, osservando il passaggio dell'ombra di uno gnomone sulla direzione N-S individuata.

La differenza di tempo tra i due momenti del passaggio del Sole sul meridiano nelle due località corrisponde alla differenza di longitudine tra esse.

⁶ vedi Strumenti 1S

Metodo delle meridiane di carta

Si predisponga la meridiana di carta adatta alla latitudine del luogo di osservazione utilizzando la pagina della Rete www.vialattea.net/eratostene/orologiemeridiane⁷

Si concorda con un'altra scuola l'ora della attività e in quell'istante si fotografa la meridiana orientata secondo la direzione N-S. Confrontando i dati delle foto ottenute simultaneamente da due diverse località si può giungere ad una misura della differenza di longitudine, per quanto il margine di errore con uno piccolo strumento del genere sia piuttosto elevato.

La differenza di longitudine si ottiene trasformando la differenza di tempo vero tra le due misurazioni in misura angolare secondo la tab.1 di Prerequisiti 5P.

Nicola Scarpel

esperienze

3SDE.1 Determinazione del tempo vero locale dal tempo civile a Venezia.

La longitudine di Venezia è 12° 22' E oppure indicata con -12° 22'.

Nel giorno stabilito l'Equazione del tempo, **Et**, è uguale a -14^m 11^s. Alle ore 10 segnate dall'orologio si effettua una foto della **meridiana di carta** orientata. Dalla foto si può osservare che l'orologio da polso segna le 10h (tempo civile o tempo medio del fuso, **t_{mf}**) mentre la meridiana segna le 9^h 35^m (tempo vero locale, **t_v**). Si vuole verificare se le due diverse misure di tempo corrispondono alla differenza di longitudine tra il meridiano centrale del fuso e Venezia.

La differenza tra la longitudine del meridiano centrale del fuso che passa per Catania (15°E o -15°) e la longitudine di Venezia è data dalla relazione

Scuola: Scuola Media "Pisani" - Lido di Venezia.
 Longitudine: 12° 22'E
 Data: 10 febbraio 2004
 Docente referente: Prof. Nicola Scarpel

$$\Delta l = \lambda_F - \lambda_L = -15^\circ - (-12^\circ 22') = -2^\circ 38'$$

Si trasformano i gradi della differenza di longitudine in tempo o *correzione di longitudine C*

$$-2^\circ \cdot 4^m = -8^m \quad -38' \cdot 4s = 152^s = -2^m 32^s$$

$$C = -8^m + (-2^m 32^s) = -10^m 32^s$$

Si determina il **tempo vero locale (t_v)** per confrontarlo con la misura ottenuta con la meridiana

$$t_v = t_{mf} + Et + C =$$

$$10^h + (-14^m 11^s) + (-10^m 32^s) = 9^h 35^m 17^s$$

La meridiana di carta, quindi, indicando le 9^h 35^m circa ha una approssimazione molto buona della differenza di tempo vero dal tempo medio.

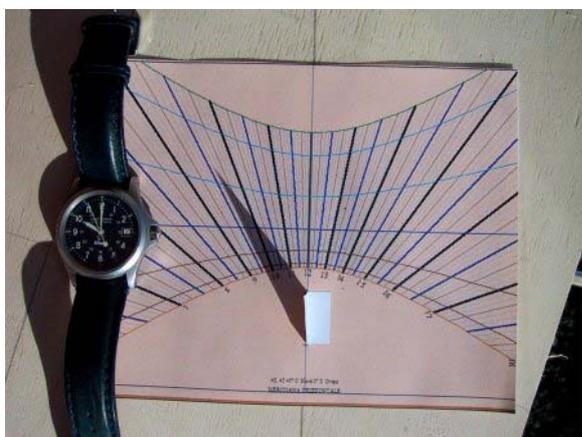


Fig. 1. Ora solare e ora dell'orologio a Venezia il 10/2/2004 (N.Scarpel)

⁷ vedi Strumenti 3S.3

3SDE.2 Differenze di longitudine tra Venezia e Lequio Tanaro (Cuneo)

Le due scuole di Lequio Tanaro (CN) e Venezia nei giorni precedenti all'appuntamento hanno orientato le loro meridiane di carta secondo il meridiano del luogo ed eseguito alcuni controlli di accuratezza dell'orientamento.

All'ora individuata, le 10^h dell'orologio, del 20 aprile 2004 sono state fotografate le due meridiane orientate.

L'Equazione del tempo del giorno individuato corrispondeva a: +1^m 4^s.

A Lequio Tanaro l'ora solare indicata corrisponde a 8^h 37^m circa (fig.1)

A Lido di Venezia l'ora solare indicata corrisponde a 8^h 55^m circa (Fig.2)

La differenza di tempo stimata è di 18^m che convertita in differenza di longitudine è pari a $\Delta \lambda = 18^m / 4 = 4,5^\circ$

La differenza di longitudine risulta quindi essere di 4°30'.

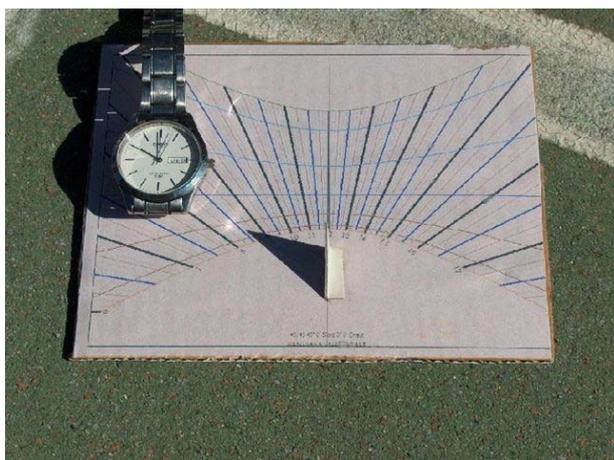


fig.1 Istituto Comprensivo "Einaudi" di Lequio Tanaro. Longitudine 7° 57'E. Ora solare indicata: 8h 37m circa (B.Rolfo)

I **dati reali** sono che
 la longitudine di Venezia Lido è 12° 22'E
 la longitudine di Lequio Tanaro è 7° 57'E
 con una differenza pari a
 $\Delta \lambda = 12^\circ 22'E - 7^\circ 57'E = 4^\circ 25'$

Come si vede il dato reale non si discosta molto dal dato ottenuto dal confronto delle ore solari.

Anche con piccoli e imprecisi strumenti di carta si è riusciti ad ottenere una stima della differenza di longitudine tra le località che si può considerare buona per scopi didattici.

Scuole: Ist. Compr. "Einaudi" di Lequio Tanaro (CN)
 Scuola Media "Pisani"- Lido di Venezia.
 Data: 20 aprile 2004-ore 10 (orario estivo)
 Docenti referenti: prof. Beppe Rolfo-Lequio Tanaro (CN)
 prof. Nicola Scarpel - Lido di Venezia

Poiché la meridiana di carta del Lido di Venezia segna circa 18 minuti in più rispetto a quella di Lequio Tanaro è evidente che la prima località si trova più spostata a Est rispetto alla seconda.

Quando a Lequio Tanaro sono le 8^h 36^m, a Venezia il Sole è già passato su quella linea oraria da 18^m circa.

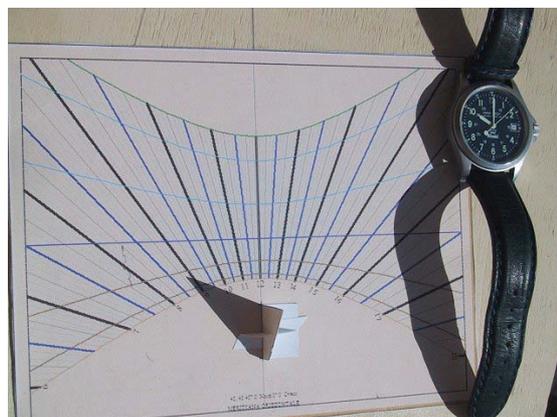


fig.2 Scuola Media "Pisani" - Lido di Venezia. Longitudine 12° 22'E. Ora solare indicata: 8h 55m circa (N.Scarpel)

Galileo, i satelliti medicei e la misura della longitudine

“..il giorno 7 gennaio del corrente anno 161., all’una di notte , mentre osservavo gli astri celesti con il cannocchiale, mi si presentò Giove, e dato che mi ero allestito uno strumento davvero eccellente, mi avvidi che gli stavano vicino tre Stelline invero piccole , ma assai luminose...e mi destarono una certa meraviglia perché, per il fatto che sembravano disposte secondo una precisa linea retta e parallela all’Eclittica e più luminosa di altre di pari grandezza.”

Con queste parole Galileo Galilei descrisse nel *Sidereus Nuncius* la scoperta dei pianetini di Giove. Meticolosamente da quel momento iniziò a registrare ogni giorno, disegnandole, le posizioni reciproche dei satelliti con Giove, giungendo alla conclusione che *“essi orbitano in modi differenti; quando l’allontanamento da Giove è più grande non è mai possibile vedere due pianeti congiunti; mentre in vicinanza di Giove se ne trovano riuniti due,tre, e talvolta tutti insieme.”*(fig.1)

Diede ad essi il nome di **Medicei** per accattivarsi il favore del suo mecenate, Cosimo de’ Medici. Ma si rese subito conto che essi potevano essere utili per risolvere il problema della misura della longitudine, tanto necessaria ai naviganti per trovare le rotte in mare.

Per tutto il 1611 osservò le lune di Giove, ne calcolò le orbite e contò le volte che esse sparivano dietro l’ombra del pianeta; poiché queste eclissi avvenivano con grande frequenza, mille volte l’anno, ipotizzò che la loro regolarità poteva funzionare da orologio celeste per le misure di longitudine. Bisognava solo avere a disposizione delle tabelle con le previsioni precise dei fenomeni.

Tenace nelle sue idee scrisse una lettera, che illustrava il suo metodo, al re di Spagna Filippo II che aveva stanziato una lauta somma in ducati da dare in vitalizio allo “scopritore della longitudine”.

Purtroppo la proposta di Galilei non venne presa in considerazione dai consiglieri del re. Galilei disegnò anche un copricapo con incorporato un cannocchiale, il *celatone*, che poteva essere utilizzato in navigazione per osservare i satelliti medicei. Lo sperimentò sulla terraferma a Livorno e spedì un suo studente a sperimentarlo su una nave, ma come ammise lui stesso, lo strumento non era molto affidabile, “bastava un battito del cuore” per far uscire Giove dal campo visivo.

Provò a offrire il suo metodo ai granduchi di Toscana e agli olandesi ma non lo presero in considerazione; gli olandesi apprezzarono le sue scoperte, ritenendole comunque utili per la risoluzione del problema della longitudine, e per dimostrarli la loro stima gli fecero omaggio di una collana d’oro. L’interesse per il metodo di Galilei andò oltre la sua morte, avvenuta nel 1642, ed ebbe finalmente il giusto riconoscimento quando fu applicato sulla terraferma nel 1650 da cartografi e topografi per ridisegnare, in maniera molto più precisa che in passato, le mappe del mondo.

A quel punto si affermò l’esigenza di avere tabelle precise dei tempi delle eclissi dei satelliti medicei e molti si accinsero a prepararne, ma si deve al professore di astronomia dell’Università di Bologna, G.Domenico Cassini la prima elaborazione accurata e completa, pubblicata nel 1688.



fig.1 Io a sinistra, proietta la sua ombra sul Giove, mentre Europa è a destra. Il polo Sud di Giove in alto. Foto ottenuta con Newtoniano da 25 cm e una webcam (Cristian Fattinanzi)

Comunque il metodo di Galilei era destinato a non avere, e non ebbe, molta fortuna sulle navi, dove è difficile garantire stabilità ad un qualunque telescopio.

Il problema della determinazione della longitudine in mare si è trascinato per altri due secoli, dopo Galilei, tra stanziamento di ingenti somme per premi, commissioni istituite ad hoc e lotte per rubarsi le idee, fino alla messa a punto di un cronometro affidabile, che ebbe il suo genio creatore in John Harrison (1693-1776), *una vita spesa* a costruire cronometri e a difendersi dai suoi detrattori ed imitatori¹.

Fenomeni medicei

Le prime quattro “lune” di Giove, le più vicine al pianeta, Io, Europa, Ganimede e Callisto, sono osservabili dalla Terra anche con piccoli cannocchiali; nel loro moto di rivoluzione intorno al pianeta esse consentono l’osservazione di interessanti fenomeni, come Eclissi, Occultazioni e Transiti del satellite stesso o della sua ombra davanti al pianeta (fig. 2 e 3).

Nel caso di

- **Eclisse:** Giove proietta il suo cono d’ombra nello spazio e quando uno dei suoi pianetini entra in esso si ha la sua Eclisse. Alcune ore dopo ricompare dall’altro lato del cono d’ombra ed è di nuovo osservabile;
- **Occultazione:** può succedere che uno dei pianetini scompaia dietro il disco osservabile del pianeta, e viene da esso occultato per un po’, per poi ricomparire dall’altra parte del pianeta;
- **Transito del satellite:** è possibile che uno dei pianetini transiti davanti al pianeta e copra il disco di Giove, sia pure in piccolissima parte;
- **Transito dell’ombra del satellite:** può succedere che uno di pianetini proietti la sua ombra sul pianeta ed essa vi transiti davanti (fig.4).

In una stessa sera o addirittura nell’arco di poche ore si possono verificare uno o più fenomeni di quelli sopra descritti.

Nel 2004 si sono verificati moltissimi fenomeni medicei nell’arco di quasi tutto l’anno, con esclusione del periodo 29 agosto-15 ottobre, quando Giove aveva una elongazione inferiore ai 18°, era cioè troppo vicino al Sole²; lo stesso si verificherà nel 2005, tranne il periodo dal 29 settembre al 15 novembre, per la stessa elongazione inferiore ai 18°.

I tempi in cui si verificano i fenomeni medicei sono riportati di solito negli almanacchi astronomici. Per l’attività che viene proposta in queste pagine si è utilizzato l’Almanacco 2004

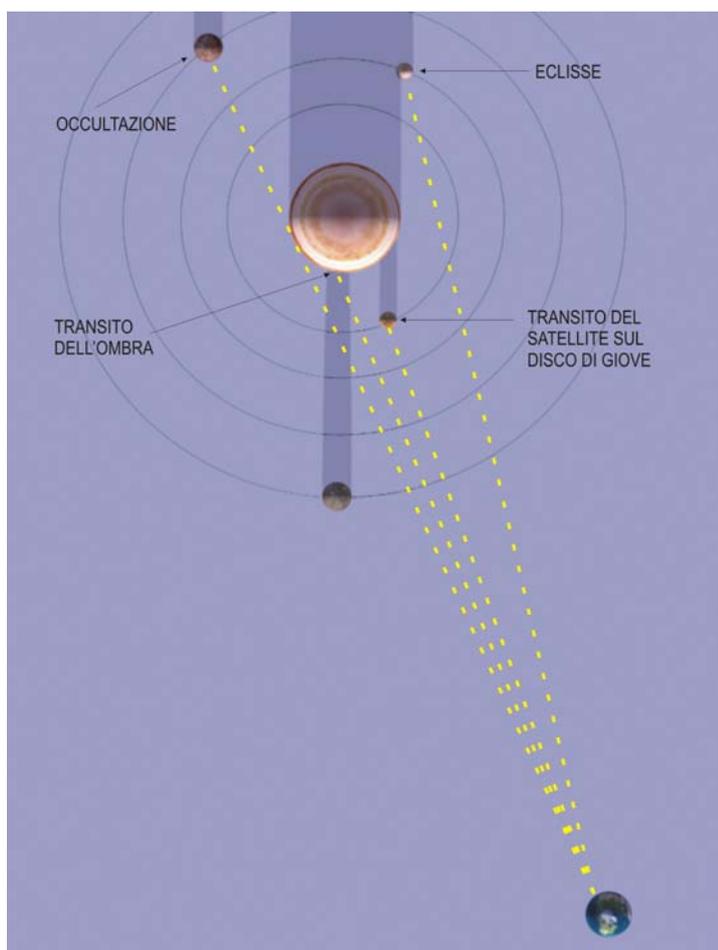


fig.2 Le diverse posizioni di Giove con le sue lune (N.Scarpel)

¹ Dava Sobel, Longitudine, Ed. Rizzoli Bur Saggi

² vedi Scheda Didattica 6SD

dell'Unione Astrofili Italiani³ che riporta l'indicazione dell'ora in cui avvengono i fenomeni in Tempo Universale e tutti i tempi si riferiscono al passaggio del *centro del disco del satellite*, sia quando si parla di inizio del fenomeno che quando si parla di fine.

Pur sapendo che sono necessarie strumentazioni di un buon livello e che non è semplice individuare il momento esatto del fenomeno, si propongono due metodi di *misura della*

longitudine con le lune di Giove, per provare come, forse, avrebbe lavorato Galilei, se avesse avuto a disposizione un buon orologio e un buon telescopio per misurare i tempi solari in cui i fenomeni medicei si verificano.

Si consiglia l'uso di una webcam collegata al telescopio che consente di riprendere gli eventi a fotogrammi ravvicinati (fig.1).

Sapendo la difficoltà di osservare in diretta i fenomeni medicei, si suggerisce di utilizzare a scopo didattico anche la **simulazione al computer** con un Software di Astronomia che riproduce il cielo stellato di qualsiasi località. Allo scopo è molto utile Skymap, che ha una versione demo free scaricabile dal suo sito <http://skymap.com>; infatti una volta individuato il pianeta è possibile, ingrandendolo, simulare benissimo i fenomeni medicei e l'ora in cui si verificano.

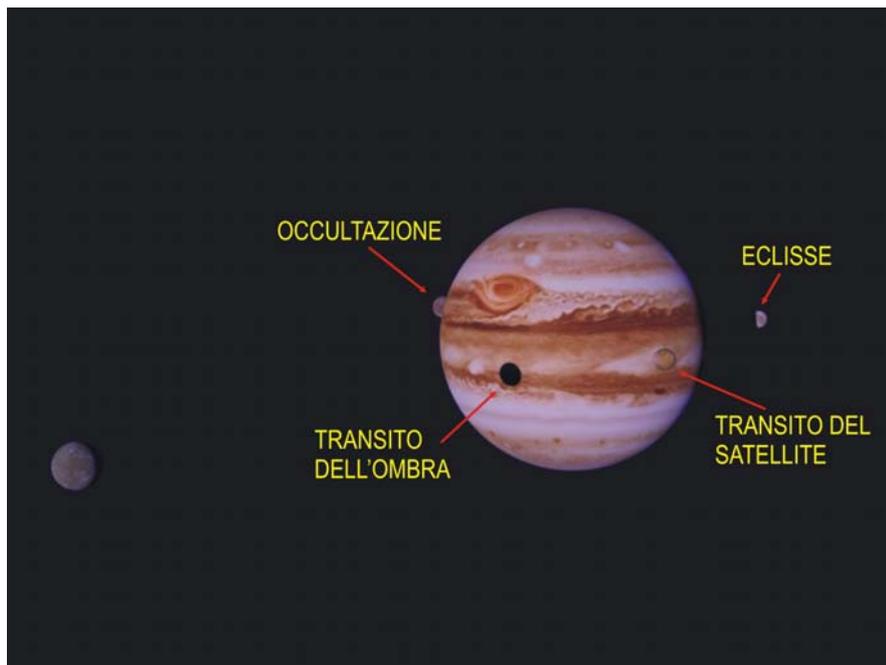


fig.3 Giove e diverse posizioni delle sue lune

(N.Scarpel)

Differenze di tempo solare del fenomeno mediceo e differenze di longitudine

I **fenomeni medicei** possono essere osservati **simultaneamente** da tutte le località della terra da cui è osservabile Giove.

Se si calcola il tempo solare in cui si verifica un fenomeno mediceo in differenti località è possibile verificare che lo stesso fenomeno ha tempi solari differenti; convertendo le differenze di tempo in gradi è possibile stabilire

- la misura di longitudine di una località rispetto a Greenwich, dove passa il meridiano fondamentale o 0°;
- la differenze di longitudine tra le diverse località.

Di solito l'ora dei fenomeni medicei negli almanacchi è **indicata in T.U.**, che corrisponde al *tempo medio di Greenwich*.

Il T.U. differisce di 1 ora dal tempo medio dell'Italia, infatti il meridiano centrale del suo fuso, che passa per Catania, ha longitudine -15°. Essendo l'Italia a Est di Greenwich l'ora corrispondente sarà uguale a quella del T.U.+1ora.

Si esemplificano di seguito due proposte di attività didattiche sulle misure di longitudine con i fenomeni medicei.

³ www.uai.it

1 Misura di longitudine con tempo solare del fenomeno mediceo

Individuazione del fenomeno mediceo

Nell'Almanacco 2004 dell'UAI 2 si sceglie un fenomeno mediceo di un dato giorno. Ad esempio il 6/3/2004 si individua il fenomeno riportato con questi dati, validi per tutte le località della Terra,

19 50,4 III. Tr.I in T.U. che secondo la relativa legenda stanno a indicare:

$19\ 50,4 \rightarrow 19^h\ 50,4^m \rightarrow 19^h\ 50^m\ 24^s$

III \rightarrow *Ganimede*

Tr.I \rightarrow *Inizio del Transito del centro del disco di Ganimede davanti al disco di Giove*

Osservazione del fenomeno e conversione del tempo medio in tempo solare

Per essere rigorosamente *galileiani*, bisognerebbe utilizzare un orologio solare perfettamente funzionante e procedere con le misurazioni del tempo solare del fenomeno a partire dal **mezzogiorno solare** della località in cui si opera, nel giorno in cui si verifica il fenomeno da osservare⁴; in alternativa si può utilizzare un cronometro, che si fa partire nell'istante del mezzogiorno solare e si ferma al momento in cui si verifica il fenomeno mediceo.

Se non si ha un orologio solare e non si intende usare il cronometro, si può individuare il mezzogiorno solare con i calcoli illustrati nel capitolo 3SD oppure utilizzare il modulo di calcolo on line della Rete di Eratostene all'indirizzo www.vialattea.net/eratostene/astrocalc/sole1.html

In questo caso, ovviamente forzato, si registra l'ora dell'orologio in cui si verifica il fenomeno mediceo; sia che esso si verifichi prima dell'alba sia dopo il tramonto, l'ora dell'orologio registrata va convertita in *ora solare vera*, utilizzando la differenza di minuti dalle ore 12 del mezzogiorno solare vero, che va *sottratta se è di valore positivo*, perché indica che il mezzogiorno solare è avvenuto dopo le ore 12, o, viceversa, *aggiunta se negativo*, poiché il mezzogiorno solare è avvenuto in anticipo rispetto a quello dell'orologio.

Infatti il Sole arriva al meridiano di ogni località in ore differenti dal **tempo medio del fuso**, indicato dall'orologio, a causa sia dell'Equazione del tempo (Et) che della **differenza di longitudine**.

Si ipotizzi che l'inizio del transito di Ganimede a Roma il 6/3/2004 avvenga all'ora dell'orologio $20^h\ 50^m\ 24^s$

*Il mezzogiorno solare si è verificato alle $12^h\ 21^m\ 21^s$ per cui, a partire da esso, si calcola il tempo solare (**tv**) che corrisponde a*

$$20^h\ 50^m\ 24^s - 21^m\ 21^s = 20^h\ 29^m\ 03^s$$

A Greenwich il T.U. indica il **Tempo solare medio**, non quello vero che va ottenuto anche qui tenendo conto della correzione dell'Equazione del Tempo (Et).

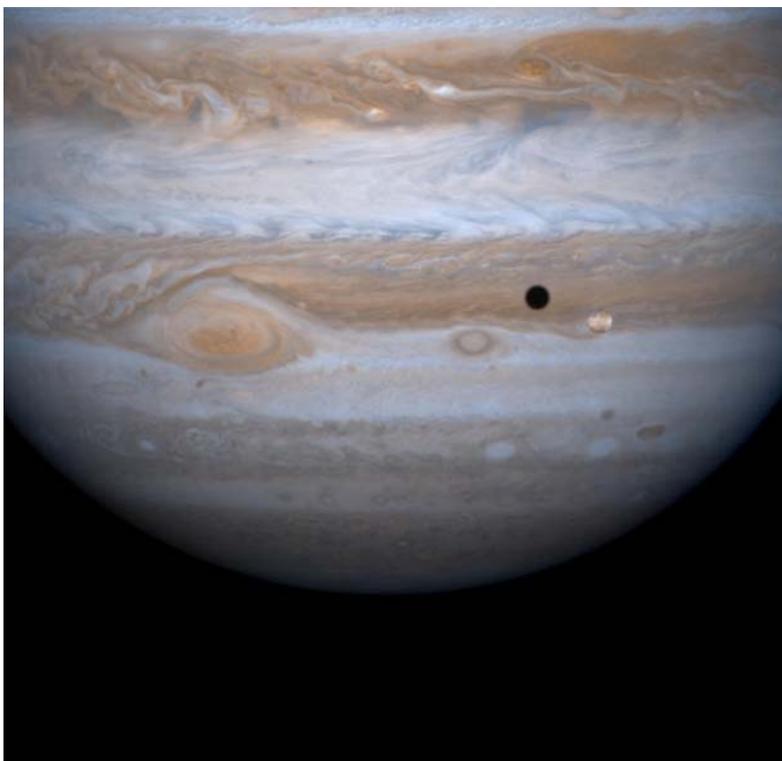


fig.4 Transito di Io e della sua ombra su Giove ripreso dalla Sonda Cassini in viaggio verso Saturno. Foto Nasa

⁴ vedi Scheda didattica 3SD

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Il 6 marzo l'Et risulta di $-11^m 21^s$, quindi il valore del fenomeno mediceo dell'almanacco va riportato in **Tempo solare vero di Greenwich (TvU)**. Perciò :

$$TvU = t_m + Et \quad \text{cioé} \quad TvU = 19^h 50^m 24^s + (-11^m 21^s) = 19^h 39^m 03^s$$

A questo punto si calcola la differenza Δt tra il tempo solare in cui si è verificato il fenomeno a Greenwich (TvU) e quello in cui si è verificato a Roma (tvI)

$$\Delta t = TvU - tvI \quad \text{per cui} \quad \Delta t = 19^h 39^m 03^s - 20^h 29^m 03^s = -50^m$$

Tale differenza di tempo si converte in gradi per ottenere la longitudine della città. La conversione in gradi di longitudine si effettua sapendo che ogni minuto di tempo corrisponde a $15'$ di angolo e ogni ora corrisponde a 15° di arco di longitudine⁵.

$$\text{long Roma} = -50^m \cdot 15' = -750' \text{ in gradi} \quad \text{long} = -12,5^\circ = -12^\circ 30'$$

La longitudine di Roma a Est di Greenwich è quindi $12^\circ 30'$ E, difatti il fenomeno si è verificato prima a Roma e poi a Greenwich.

2 Misura di differenze di longitudine con misura del tempo solare del fenomeno mediceo

Se si osserva il fenomeno mediceo da **due località diverse** e si calcolano i tempi solari dell'evento è possibile calcolare la **differenza di longitudine** tra di esse.

In questo caso si possono far partire due cronometri al momento del mezzogiorno solare in due diverse località, come ad esempio **Roma e Foggia**.

I due cronometri vanno fermati al momento in cui si verifica il fenomeno mediceo, si registra l'ora segnata, che corrisponde, con l'aggiunta di ore 12, all'ora solare vera del posto.

La località posta più a Est dovrà avere la registrazione del fenomeno con un tempo maggiore dell'altra.

Se non si possono usare i cronometri si può sempre calcolare l'ora solare del fenomeno registrando l'ora dell'orologio ed effettuando le correzioni dei minuti in più o in meno in cui si verifica il mezzogiorno solare (si veda il procedimento del Metodo n. 1).

La differenza di tempo tra le ore solari trovate nelle due località corrisponde alla differenza di longitudine tra esse, che si trova con la opportuna conversione in gradi.

I tempi indicati dagli Almanacchi possono essere utilizzati come indicazione dell'ora in cui l'evento si deve verificare.

Si ipotizzi lo stesso fenomeno del metodo precedente, per esempio il 6 marzo, riportato con questi dati: **19 50,4 III. Tr.I** che corrisponde all'inizio del transito di Ganimede davanti al disco di Giove.

A **Roma** il cronometro parte a mezzogiorno solare; il tempo solare (**tvR**) ottenuto aggiungendo ore 12 al tempo registrato al momento in cui avviene l'inizio del transito del centro del disco di Ganimede è: $20^h 29^m 03^s$

A **Foggia** il Tempo solare (**tvF**) ottenuto con lo stesso metodo è: $20^h 41^m 15^s$

La differenza di tempo del verificarsi del fenomeno tra le due località è

$$\Delta t = 20^h 41^m 15^s - 20^h 29^m 03^s = 12^m 12^s$$

Convertendo tale differenza in gradi si ha che la differenza di longitudine tra le due località è:

$$\Delta \lambda = 12^m 12^s \cdot 15 = 183' : 60 = 3^\circ 03'$$

Poiché la località dove il tempo registrato è maggiore si trova più a Est dell'altra, Foggia risulta essere più a Est di Roma di $3^\circ 3'$ di longitudine.

Infatti Roma ha longitudine $12^\circ 30'$ E mentre Foggia ha longitudine $15^\circ 33'$ E.

⁵ Vedi tab.1 Prerequisiti 5P

5SD LA SCALA PER LE STELLE...SPERIMENTAZIONE DEL CALCOLO DELLA PARALLASSE

La storia dei Sogni

Fin da quando l'intelligenza ha illuminato la mente dell'uomo, egli è rimasto sempre colpito da quella misteriosa e inspiegabile macchia scura, intervallata da migliaia di piccole luci sfavillanti, che noi chiamiamo "cielo". Ben presto il timore reverenziale per questo aspetto della natura si trasformò in una certa familiarità con il firmamento: così furono inventate le costellazioni. Ad un certo punto l'uomo non si accontentò più di chiamare per nome gli astri: voleva sapere qualcosa di più sul loro conto. Nacque così l'astrometria, la branca dell'astronomia che si occupa di determinare le distanze degli astri.

Nel corso della sua lunga storia, l'uomo è riuscito a costruire una scala di misurazioni che va dall'estensione di un campo di grano fino alle dimensioni dell'intero Universo noto (fig.1).



fig.1 Una scala per le stelle (F.Pacucci)

Uno fra gli obiettivi fondamentali degli astronomi di tutti i tempi è stata la determinazione delle distanze all'interno del Cosmo ed uno dei primi metodi di misura ideati in campo astrometrico si basa sulla **parallasse**.

La parallasse di un oggetto è l'angolo sotto cui vediamo il suo spostamento rispetto a uno sfondo, ritenuto fisso, dovuto esclusivamente al cambio del sistema di riferimento adottato, vale a dire al cambio della posizione spaziale degli osservatori. Noi utilizziamo continuamente la parallasse nella vista binoculare per stimare le distanze degli oggetti che ci stanno attorno e per percepirne la profondità.

La parallasse è stata utilizzata nell'antichità per stimare le distanze di Marte, di Venere, del Sole... Solo nell'Ottocento, grazie a Bessel, fu misurata la parallasse stellare, precisamente quella di una stella doppia del Cigno, 61 Cygni.

Per la prima volta questi navigatori del cielo, gli astronomi, si ritrovarono a vagare in un Oceano ben al di là di qualsiasi immaginazione.

Noi giovani ormai non siamo più abituati ad alzare gli occhi al cielo e a causa di ciò la nostra idea della reale scala dell'Universo è qualcosa di molto vago: quelle rarissime volte che riusciamo a osservare la Via Lattea, in qualche posto sperduto, non ci rendiamo conto che essa è una struttura talmente grande che il Sole impiega circa 225 milioni di anni per girarci attorno.

L'obiettivo di questa proposta per il **calcolo della parallasse astronomica**, che grazie alla "Rete di Eratostene" del MIUR e all'UAI (Unione Astrofili Italiani), associazione a cui appartengo, ha coinvolto alcuni istituti superiori italiani ed esteri, è proprio quello di far "toccare con mano" a noi ragazzi i corpi celesti più vicini alla Terra, misurando direttamente la loro distanza.

L'idea è nata da una chiacchierata con un mio amico che abita dall'altra parte dello Stivale rispetto alla mia città, Taranto. Volevo trovare un sistema per effettuare delle misurazioni astronomiche sfruttando la nostra distanza.... Cosa ci poteva "avvicinare" più del metodo della parallasse?

Vi racconto questa esperienza fantastica, capace di far viaggiare me e alcuni amici, come in un romanzo di avventura, verso luoghi lontanissimi, in attesa di sentire la vedetta gridare "Tierra! Tierra!".

Fornirò prima una descrizione generale del procedimento usato per calcolare l'angolo di parallasse. La difficoltà matematica del metodo è molto bassa, in pratica si utilizza una sola formula

di trigonometria piana. Semplici dimostrazioni matematiche consentono di capire fino in fondo le assunzioni fatte. Ma non sono essenziali e possono essere benissimo “dribblate” dai “poco curiosi”. Dopo la teoria arriva la parte più avvincente: il racconto delle esperienze di misurazione!

Fatte queste premesse, non mi resta che augurarvi buon viaggio. Allacciate le cinture, ascoltate gli ultimi istanti del countdown e accendete i motori... della fantasia!

Sulle tracce della parallasse...

L'obiettivo della nostra missione è estrapolare l'angolo di parallasse di un corpo celeste, cioè la Luna, da una coppia di fotografie simultanee che lo ritraggono da due punti di osservazione differenti rispetto ad un sistema di riferimento stellare (fig.2).

E' necessario quindi che in entrambe le fotografie sia ben visibile una stessa coppia di stelle. Una volta ottenuto l'angolo di parallasse si può calcolare la distanza fra la Terra e la Luna.

Però è importantissimo che le due fotografie rispettino alcune “regole”:

- Devono essere scattate da due posizioni differenti e sufficientemente distanziate.
- Devono essere scattate nello stesso istante.
- Devono contenere, oltre al corpo oggetto di indagine, la stessa coppia di stelle.
- Non devono essere riprese con ingrandimenti troppo differenti.

Vediamo qui di seguito il procedimento di calcolo per misurare la parallasse della signora del cielo: la Luna.

Io e un mio amico concordiamo di osservare simultaneamente la Luna da punti differenti della Terra e di scattarle, ognuno dal suo punto di vista, una foto. Successivamente osserviamo le foto e notiamo che la Luna, rispetto a due stelle visibili in entrambe le foto, ha posizioni differenti.

La misura dell'angolo tra le due differenti posizioni della Luna, opportunamente valutate, è la parallasse dell'oggetto, da cui si può ricavare la sua distanza topocentrica.



fig.2 Amici per la parallasse

(F.Pacucci)

..con l'aiuto di due fotografie istantanee e del Teorema del coseno.

I passaggi matematici seguenti sono stati ricavati dal teorema del coseno, o di Carnot, della trigonometria piana.

In effetti, sulla sfera celeste noi misuriamo degli angoli sferici, ma ho preferito non applicare delle formule di trigonometria sferica, sia perché non rientrano nel programma della maggior parte degli istituti superiori scolastici in Italia, sia perché per foto a piccolo campo come quelle utilizzate l'approssimazione è piuttosto buona. In questo modo le uniche misurazioni necessarie saranno di tipo lineare.

Prima di tutto dobbiamo individuare sulle foto le due stelle di riferimento e un punto caratteristico della Luna non puntiforme, come un cratere lunare.

Costruiamo sulle foto i triangoli ABC ed $AB'C$ i cui lati congiungono:

AC (a) le stelle di riferimento,

AB (b) e AB' (b'), la prima stella e il punto caratteristico della Luna,

BC (c) e $B'C$ (c'), il punto caratteristico della Luna e la seconda stella (fig.3).

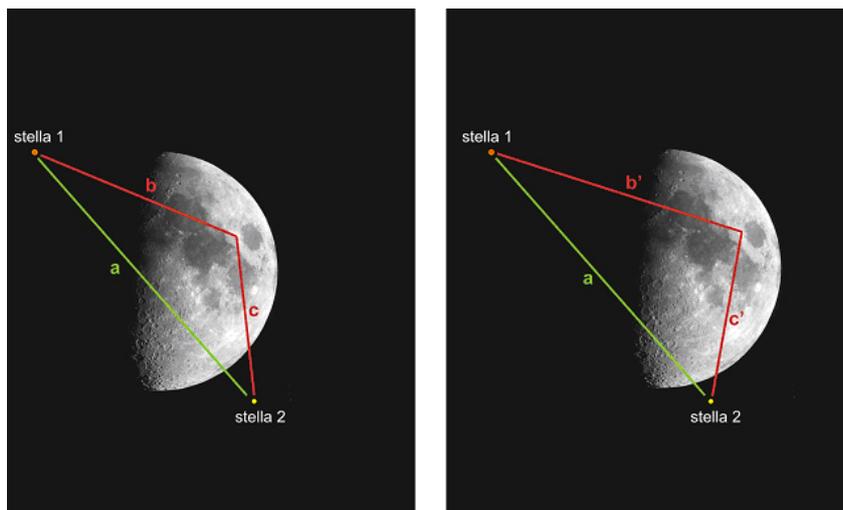


fig.3 Le differenti posizioni assunte dalla Luna, rispetto ad un sistema di riferimento stellare, se osservata da luoghi diversi.

(F.Pacucci)

Il lato **a** non varia da una foto all'altra, mentre sono tra loro diversi **b** rispetto a **b'** e **c** rispetto a **c'**.

Ora sovrapponiamo i due triangoli lungo la base **a** e otteniamo la figura della fig.4. Il nostro scopo è misurare la distanza angolare che corrisponde all'alto **F**, il quale separa i vertici superiori dei triangoli, quindi le posizioni della Luna delle due fotografie.

Con la formula di Carnot, ricaviamo prima gli angoli γ e γ' in funzione dei lati dei rispettivi

triangoli.

Quindi:

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad \text{e} \quad \cos \gamma' = \frac{a^2 + b'^2 - c'^2}{2ab'}$$

Dalla definizione stessa di arcocoseno (*arcos*) ricaviamo che $\gamma = \arccos \gamma$ e $\gamma' = \arccos \gamma'$.

Il valore assoluto della loro differenza ci fornisce l'angolo φ

$$\varphi = |\gamma - \gamma'|$$

Riapplicando il teorema del coseno al triangolo **ABB'**, di lati **b, b'** e **F**, e conoscendo l'angolo φ , possiamo calcolare il lato **F**, cioè **la misura lineare della parallasse**.

$$F = \sqrt{b^2 + b'^2 - 2bb' \cos \varphi}$$

Per trasformare questa grandezza nell'angolo di parallasse sarà sufficiente fare una proporzione con una qualsiasi altra grandezza presente nelle due foto, per esempio la distanza angolare fra la coppia di stelle scelta come sistema di riferimento.

La proporzione è quindi: **2P: F = A: a**

dove

2P = doppio dell'angolo di parallasse,

a = misura lineare, nelle foto, della distanza fra le stelle di riferimento,

A = misura angolare del segmento **a**, facilmente ricavabile con qualsiasi software astrometrico, per cui

$$P = \frac{F \cdot A}{2a}$$

La **parallasse** è l'angolo sotto cui è visto un oggetto celeste, nel nostro caso un punto particolare della Luna, da due osservatori sufficientemente distanziati. Corrisponde in altre parole all'angolo sotto il quale un *lunatico*, collocato nella postazione da noi prescelta, vedrebbe la distanza tra i due osservatori (fig.5).

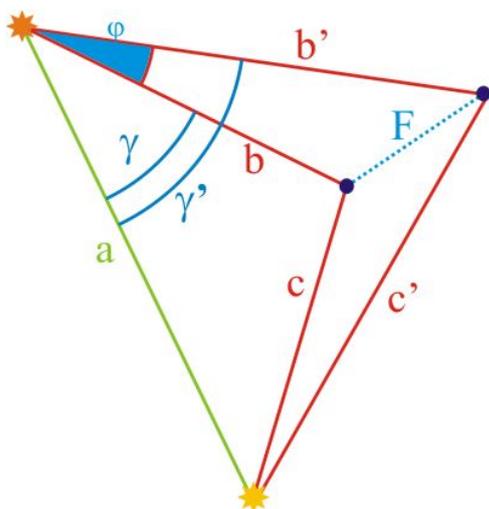


fig.4 Sovrapposizione dei triangoli della figura precedente rispetto alle basi **a** congruenti.

(F.Pacucci)

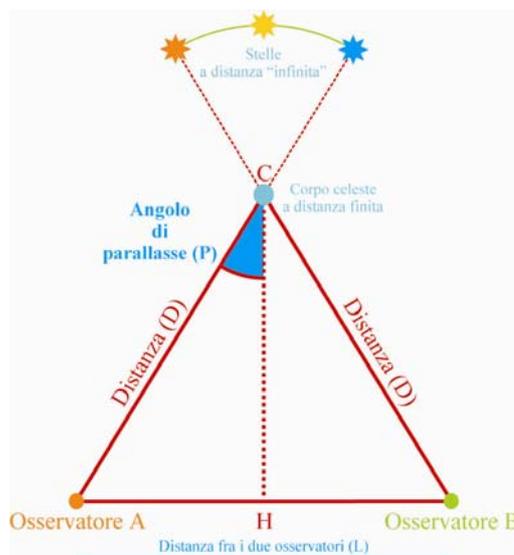


fig.5 L'angolo di parallasse

(F.Pacucci)

Applicando un noto teorema al triangolo rettangolo ACH della fig.5 dove

AC = D = distanza Terra-Luna

P = l'angolo di Parallasse

AH = metà della distanza **L** tra due osservatori

ricaviamo che

$$AC = \frac{AH}{\sin P}$$

Moltiplicando per due numeratore e denominatore del secondo membro dell'equazione si ha

$$D = \frac{L}{2 \cdot \sin P}$$

Questa formula permette di determinare la distanza geocentrica dell'oggetto considerato, inserendo come dati l'angolo di parallasse (appena misurato) e la distanza fra gli osservatori.

Applicare la formula per il calcolo della parallasse "a mano" può sembrare (anzi, è!) piuttosto lungo e difficoltoso, ma basta compilare un programma appropriato per ottenere tutti i calcoli che vogliamo prima che la Luna si sposti di un solo millimetro! Tutto qui!

Quella che sembrava una missione impossibile (misurare... il cielo!) si è rivelata una missione quantomeno... divertente!

La parte più difficile è fatta, non resta che metterci i telescopi in spalla e iniziare le misurazioni.

Prima, però, inserisco una sezione dedicata a vari approfondimenti teorici. Se siete curiosi, se la matematica non vi annoia oppure se la sezione precedente vi ha lasciato qualche "tremendo dubbio" leggete quello che segue.

Altrimenti volate direttamente alle esperienze sul campo...

Parallasse e distanza fra gli osservatori

Di sicuro leggendo queste pagine vi sarete chiesti: ma quanto lontano si può andare? E quanto devono essere distanti gli osservatori? Ragioniamoci sopra.

Per la definizione di parallasse, è ovvio che per osservatori situati nello stesso punto dello spazio l'angolo di parallasse di qualsiasi oggetto è nullo. La separazione minima fra gli osservatori è funzione della distanza dell'oggetto del quale si vuole misurare la parallasse e dello strumento ottico utilizzato dagli osservatori.

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Per questo motivo, prima di effettuare qualsiasi misurazione, sarà necessario valutare attentamente questo aspetto....

Non pretenderete di misurare da casa vostra la distanza della Galassia di Andromeda, vero?

Qualsiasi strumento ottico, compresi i nostri occhi, possiede un *potere risolutivo*, definito come la minima distanza angolare alla quale due oggetti devono essere localizzati affinché siano riconosciuti come corpi distinti.

Per un telescopio il potere risolutivo si può calcolare con una buona approssimazione tramite la formula:

$$\sigma = \frac{120''}{D}$$

dove: σ = potere risolutivo espresso in secondi d'arco
 D = diametro dello strumento espresso in millimetri

Il potere risolutivo teorico della maggior parte dei telescopi amatoriali si aggira intorno al secondo d'arco. In realtà un tale valore si raggiunge in condizioni perfette, cioè in totale assenza di turbolenza atmosferica. Il potere risolutivo di uno strumento pone un importante limite alle misurazioni di parallasse.

Consideriamo ora un triangolo isoscele **ABC**, la cui base **AB** rappresenta la distanza fra i due osservatori e nel vertice **C** è posto l'oggetto di cui si vuole misurare la parallasse (fig.6).

L'angolo in **C** è il doppio dell'angolo di parallasse.

Definiamo **limite parallattico strumentale** la metà del potere risolutivo dello strumento (in conformità con la definizione di angolo di parallasse utilizzata). Per applicare il metodo proposto è necessario che l'angolo di parallasse da misurare sia superiore (o al più uguale) al limite parallattico strumentale. Se così non fosse, la parallasse dell'oggetto apparirebbe nulla, poiché non strumentalmente misurabile.

Supponiamo ora che l'angolo di parallasse misurato sia esattamente uguale al limite parallattico strumentale. Conoscendo la distanza dell'oggetto, possiamo determinare la minima distanza alla quale due osservatori devono essere posti affinché possano misurare un angolo di parallasse uguale, o superiore, al limite parallattico strumentale.

La formula fondamentale è: $L \geq 2 \text{sen} L_{PS} \cdot D$

dove: **L** = la distanza fra i due osservatori
D = la distanza del corpo in esame

L_{PS} = il limite parallattico strumentale

fig.6 In questo triangolo isoscele, AB è la distanza tra osservatori e in C presente il corpo celeste di cui si vuole calcolare la parallasse. (F.Pacucci)

Per esempio, assumendo un limite parallattico strumentale di un secondo d'arco, in teoria due osservatori distanziati di 3,7 chilometri potrebbero effettuare la misurazione di parallasse della Luna (distanza media dalla Terra: 384.000 km).

In pratica, tuttavia, la distanza reale deve essere ampiamente superiore a quella calcolata .

Sempre con questa formula, si ricava che, assumendo la distanza fra gli osservatori pari al diametro terrestre, circa 12.756 km, che è la massima distanza possibile sulla Terra, ... *a meno di non riuscire a coinvolgere qualche astronauta*, è possibile utilizzare il metodo della parallasse con corpi distanti al massimo tre miliardi di km, o poco meno.

Ma per far questo sono necessarie strumentazioni d'altissima precisione.

Altra osservazione: per una migliore precisione è necessario considerare come distanza fra gli osservatori il segmento che unisce le loro posizioni, non la geodetica. E' possibile calcolare la distanza tramite semplici formule di trigonometria sferica in funzione delle coordinate geocentriche dei siti.

Infine, voglio porre l'attenzione su un particolare importante: chi ci assicura che il triangolo formato dalle congiungenti oggetto-osservatori è isoscele? In realtà il triangolo è isoscele solo nel caso in cui l'oggetto passi allo Zenit nel punto medio della congiungente i due osservatori. Ma il

triangolo può comunque essere considerato isoscele poiché la base è trascurabile rispetto all'altezza: infatti le distanze terrestri sono trascurabili rispetto a quelle astronomiche.

Per convincersi di questo, è sufficiente disegnare su di un foglio un qualsiasi triangolo, con la base trascurabile rispetto all'altezza. Si può facilmente notare che maggiore è il rapporto fra altezza e base, più il rapporto fra i lati tende a 1.

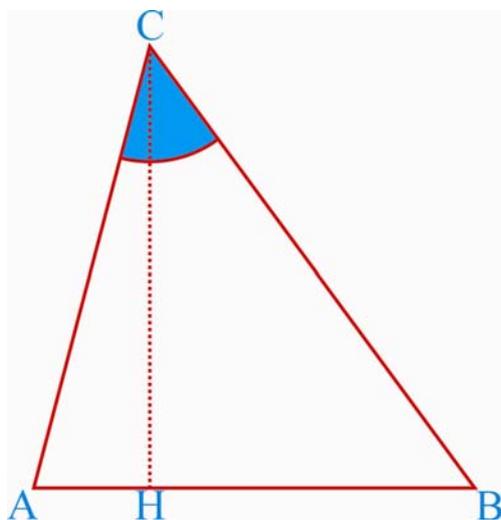


fig.7 Il lato **AB** rappresenta la distanza fra gli osservatori, **CH** la distanza fra l'oggetto celeste considerato e il segmento che congiunge i due osservatori. (F.Pacucci)

Infatti consideriamo un triangolo generico **ABC**, in cui il lato **AB** rappresenta la distanza fra gli osservatori, **CH** la distanza fra l'oggetto celeste considerato e il segmento che congiunge i due osservatori (fig.7)

Se consideriamo distanze astronomiche, si avrà che **AB** è decisamente minore di **CH**.

Quindi possiamo scrivere che

$$\frac{CH}{AB} = \kappa \rightarrow \infty.$$

Ovviamente è solo un'approssimazione. Considerando una distanza standard fra gli osservatori di 100 km, per la Luna è $\kappa = 3.840$, per il Sole è $\kappa = 1.496.000$, per Giove è $\kappa = 6.280.900$, per Proxima Centauri è $\kappa = 437.000.000.000$.

Quindi, per distanze astronomiche, possiamo assumere che **AB** $\rightarrow 0$

Applicando il teorema di Pitagora ai due triangoli **AHC** e **BHC**, possiamo scrivere:

$$\lim_{AB \rightarrow 0} \begin{cases} AC^2 = CH^2 + AH^2 \\ CB^2 = CH^2 + HB^2 \end{cases}$$

Se **AB** $\rightarrow 0$, il quadrato di quantità minori di **AB**, come **AH** e **HB** possono essere considerate trascurabili e, con una certa approssimazione, possiamo affermare che **AC** = **CB**.

Incredibile, vero?

Tic, tac... tic, tac...

Non ci vuole molto a capire che ora parliamo del tempo. Diciamo subito che lo scarto temporale fra le due osservazioni deve essere minimo, teoricamente nullo. Se lo scarto temporale fosse consistente, la misurazione non sarebbe precisa poiché all'angolo di parallasse si sommerebbe lo spostamento proprio dell'oggetto. E' ovvio che questa necessità è più sentita per oggetti vicini come la Luna.

Per questo si consiglia l'utilizzo di orologi sincronizzati, meglio se radiocontrollati.

Ovviamente è possibile anche utilizzare due foto non scattate contemporaneamente: in questo caso è necessario calcolare teoricamente lo spostamento angolare dell'oggetto e sottrarre questo valore dall'angolo di parallasse trovato. Anzi, questo approccio apre nuove porte alle misurazioni di parallasse poiché è possibile sfruttare il moto di rivoluzione della Terra per distanziare il più possibile i luoghi di osservazione.

Ingrandimenti di foto, che passione!

Fino a ora ho dato per scontato che le due fotografie abbiano lo stesso ingrandimento, infatti nel caso da noi esaminato le stelle nelle due foto hanno distanze lineari identiche.

Ovviamente questo nella realtà è impossibile, ma delle semplicissime considerazioni geometriche permettono di ovviare al problema. Vediamo come.

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

La distanza angolare fra due qualsiasi punti di una fotografia è funzione dell'ingrandimento utilizzato. Maggiore è l'ingrandimento, maggiore sarà la distanza angolare.

Se due punti su di una fotografia presa a n ingrandimenti distano tra loro di una certa lunghezza d , due punti di una fotografia presa a Kn ingrandimenti disteranno tra loro di una lunghezza Kd .

Definiamo K il rapporto fra il numero di ingrandimenti della seconda fotografia e il numero di ingrandimenti della prima.

$$K = \frac{n'}{n}$$

Per uniformare gli ingrandimenti delle due immagini è necessario moltiplicare ogni lunghezza della foto a n ingrandimenti per il fattore K .

Facciamo un esempio.

Immaginiamo di possedere due fotografie che rispondono a tutti i requisiti del metodo, tuttavia, sono a ingrandimenti differenti. La prima fotografia è scattata a 50 ingrandimenti, la seconda a 100 ingrandimenti. Abbiamo quindi che

$$K = \frac{100}{50} = 2$$

Ora confrontiamo i triangoli risultanti dalle fotografie effettuata a n ed n' ingrandimenti. (fig.8-9)

È evidente che la base a' del secondo triangolo corrisponde alla base a del primo moltiplicata il fattore K . Lo stesso ragionamento vale per tutti i lati corrispondenti.

Pertanto per uniformare gli ingrandimenti e poter confrontare le foto è necessario moltiplicare ogni lato del triangolo minore per il fattore $K = 2$, ottenendo due triangoli simili, in quanto i lati corrispondenti sono proporzionali e il rapporto di proporzionalità è proprio K .

Quindi gli angoli di queste due figure sono rimasti inalterati dopo la trasformazione, come si può vedere nelle immagini di fig. 10 e 11.

Questo procedimento permette di utilizzare il metodo proposto con qualunque ingrandimento.

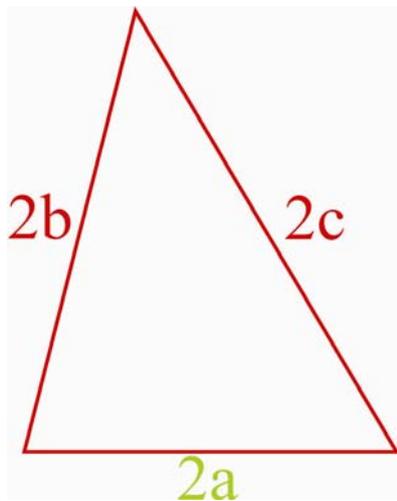


fig.10. Triangolo a n ingrandimenti moltiplicato per il fattore K

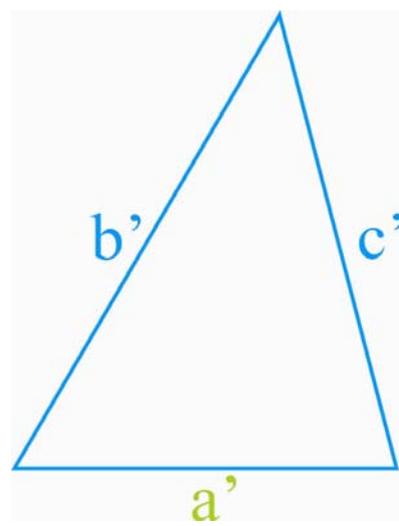


fig.11 Il triangolo a n' ingrandimenti (uguale alla fig.9) da confrontare con la fig.10

È necessario solo ottenere che la distanza lineare fra le stelle di riferimento sia identica in entrambe le foto.

Un altro problema che sorge durante le misurazioni è la differenza fra le risoluzioni delle immagini: i programmi di grafica, con qualsiasi unità di misura, basano le proprie misurazioni proprio sulla dimensione dei pixel e quindi sulla risoluzione dell'immagine.

Da questo deriva che uno stesso segmento "reale", misurato al computer su due fotografie differenti per risoluzione, avrà dimensioni

nettamente differenti.

Ma, come è facile intuire, K rappresenta anche il fattore di correzione per la differente risoluzione.

Dopo aver letto “il manuale di volo”, siamo finalmente pronti a decollare verso uno spazio sconfinato, che aspetta solo di essere esplorato...

BIBLIOGRAFIA

Dodero N., Baroncini P., Trezzi D., *Elementi di Matematica 2*, Ghisetti e Corvi Editori, Milano, 2000, 665-666

Ferguson K., *Dalla Terra alle galassie*, Longanesi & Co. Editore, 2001

Calanca R., *Il transito di Venere sul disco del Sole* Ed. Scientifiche Coelum, Venezia, 2004

5SDE La scalata verso le stelle...con l'aiuto dell'eclisse di Luna



fig.1 Fabio Pacucci (primo a sx) e i suoi compagni di scuola pronti per osservare il transito di Venere presso l'Osservatorio Astronomico "Isaac Newton" di Uggiano Montefusco (TA)

Scuole: Liceo Scientifico Battaglini – Taranto
Liceo Scientifico –Filadelfia (VV)
Data: 4 maggio 2004:
Referenti: prof. Fernando Carta
 Studente Fabio Pacucci
 prof. Toni Scarmato

Quando la Luna si nasconde dietro le spalle della Terra, avviene uno degli spettacoli più belli che si possano immaginare... e noi abbiamo sfruttato l'Eclissi di Luna per misurare la distanza della Signora del Cielo

Nella prima di queste avventure astronomiche sono stati coinvolti 10 osservatori distribuiti in tutta Italia. In effetti, l'Eclissi è il momento ideale per applicare il metodo illustrato precedentemente, poiché consente facilmente di riprendere sia il nostro

satellite, sia stelle di sfondo.

Dopo esserci accordati sui tempi di ripresa abbiamo iniziato a sperare nella clemenza delle condizioni meteorologiche. Purtroppo le classiche nuvolette degli astrofili si sono fatte vive in forze, soprattutto al nord.



fig.2 Foto eseguita da Fabio Pacucci a Taranto alle 20h 25m TU. Reflex Minolta X700, obiettivo 270 mm a f/22, tempo d'esposizione 10s su pellicola da 800 ASA.

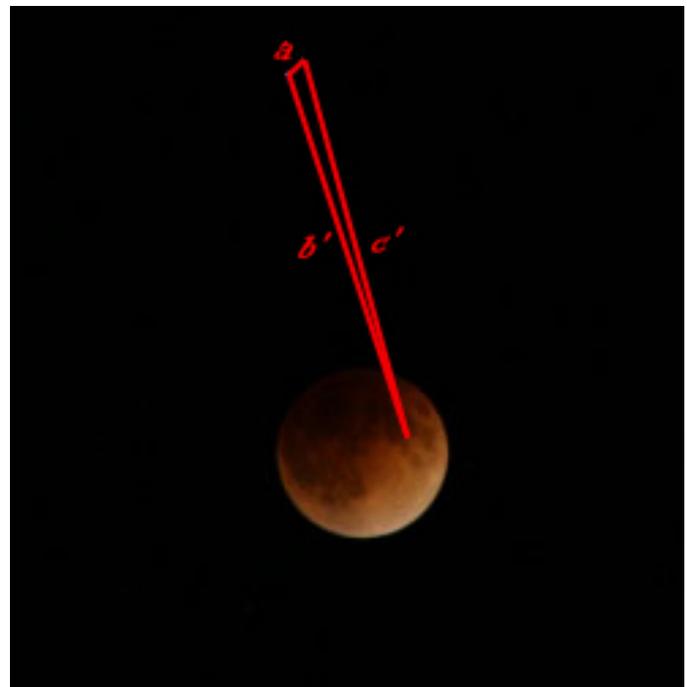


fig.3 Foto simultanea eseguita da Toni Scarmato a Vibo Valentia. Canon 10D 3024 · 2078 pixels.

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Così solamente il prof. Toni Scarmato, astrofilo dell'UAI, dal Liceo Scientifico di Filadelfia (VV) e io dall'Osservatorio Astronomico "Isaac Newton" di Uggiano Montefusco (TA) siamo riusciti a scattare due foto contemporanee e utilizzabili per lo scopo prefissato (fig 2-3).

In entrambe le riprese, oltre a una magnifica Luna nella fase di totalità, erano ben visibili due astri molto vicini che costituiscono il sistema doppio, ottico, di Zuben Elgenubi nella Bilancia. Le foto sono state scattate alle 20^h 25^m TU.

Purtroppo le stazioni di osservazione sono separate solo da 225 km, cosicché l'angolo di parallasse non è molto evidente nelle foto. Ma finalmente avevamo fra le mani un reale "pezzetto di Universo" da misurare!

Siamo passati subito all'azione individuando in entrambe le fotografie un particolare della Luna ben visibile. Si tratta dell'evidente biforcazione che separa il Mare della Tranquillità dal Mare della Fecondità.

A questo punto siamo passati alla fase più divertente: la misurazione, tramite un righello elettronico presente in molti software di grafica. Inserirli i dati nel programma precedentemente compilato abbiamo atteso il risultato finale. Nel momento in cui questo è apparso sul monitor, il nostro urlo di gioia è sicuramente arrivato sulla Luna, ben più veloce della luce.

Secondo le nostre misurazioni, la Luna in quel preciso istante era distante 357.679 km. Le effemeridi riportavano la Luna a una distanza di 359 370 km.

Avevamo sbagliato solo di 1691 km, cosicché la precisione della misura era del 99,5%!!!

Come disse Christiaan Huygens, grande astronomo olandese del XVII secolo: " Quale schema mirabile e sorprendente abbiamo qui della splendida vastità dell'Universo!"

6SD IL TRANSITO DI VENERE DELL'8 GIUGNO 2004

Un po' di geometria celeste

Quando un corpo celeste si interpone tra la Terra ed un altro astro ne occulta in tutto o in parte la visione. E' nota a tutti cosa sia una **Eclissi solare**: la Luna, passando tra Terra e Sole, nasconde completamente quest'ultimo a causa del quasi identico diametro apparente dei due corpi.

Esistono altri fenomeni analoghi a questo ma non così vistosi, né famosi. La Luna, ad esempio, nel suo moto di rivoluzione attorno alla Terra, si sposta sullo sfondo delle stelle da ovest ad est e capita spesso che copra alcune di esse. In questo caso si parla più propriamente di **occultazioni**, anche se la meccanica del fenomeno è del tutto simile a quella delle eclissi solari.

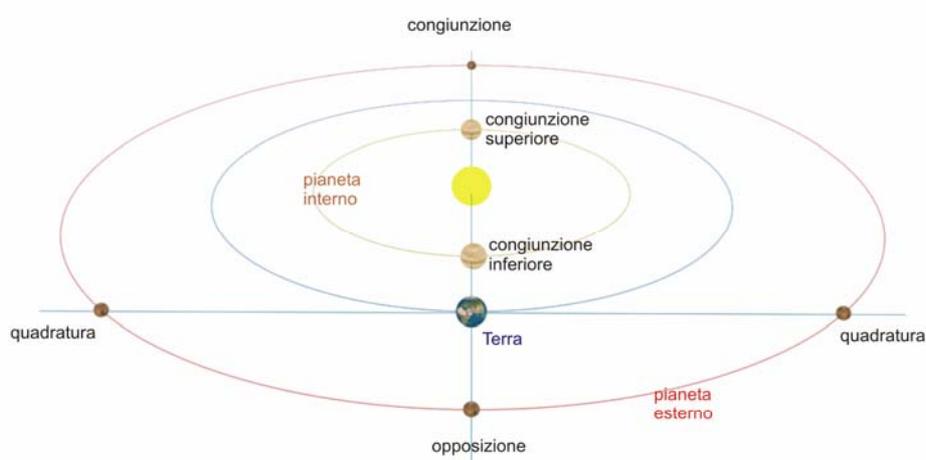


fig.1 Orbite e posizioni relative a Terra e Sole dei pianeti

(F.Martinelli)

Tale tipo di evento viene sempre più spesso evidenziato dai mass-media appena è un po' più appariscente del solito, come quando ad essere occultate sono stelle di prima o seconda grandezza, o pianeti.

Esiste poi la possibilità che davanti al Sole passino i pianeti, che all'osservazione diretta appaiono come piccole macchie nere, nette e precise, che si stagliano sul disco solare.

Nel nostro sistema Solare questo può accadere solo per i pianeti cosiddetti *interni*, Mercurio e Venere, la cui orbita si trova inserita tra Terra e Sole. In questo caso si parla tecnicamente di **transiti**.

Il fenomeno non è normalmente visibile ad occhio nudo e va osservato con opportuni mezzi. Nel passato, in particolare durante il periodo dell'Illuminismo, per il rinnovato entusiasmo per la scienza, l'osservazione dei transiti fu una attività per cui astronomi, società scientifiche, stati e governi impegnarono rilevanti risorse sia umane che economiche.

Nel loro incessante peregrinare attorno al Sole i pianeti possono assumere infinite reciproche posizioni. Alcune di queste sono, per così dire, *notevoli*, e di seguito se ne evidenziano le più importanti.

Quando il pianeta, visto dalla Terra, assume una qualsiasi posizione a oriente o ad occidente della direzione Terra-Sole si parla di **elongazione**.

Quando l'elongazione è zero, Terra, Pianeta e Sole sono perfettamente allineati e si parla di **congiunzione**.

Per i **planeti interni**, Mercurio e Venere, collocati tra la Terra e il Sole si possono avere due tipi di *congiunzione*:

congiunzione inferiore quando il pianeta si pone tra Terra e Sole;

congiunzione superiore quando il pianeta è al di là del Sole (fig.1).

In entrambi i casi il pianeta non è visibile e sorge e tramonta insieme al Sole.

L'**elongazione** di un pianeta interno può essere **orientale od occidentale**, a seconda che esso sia collocato ad oriente o ad occidente del Sole, dal punto di vista terrestre (fig.2). La massima elongazione per Mercurio è pari a circa 28° , mentre per Venere è circa 48° .

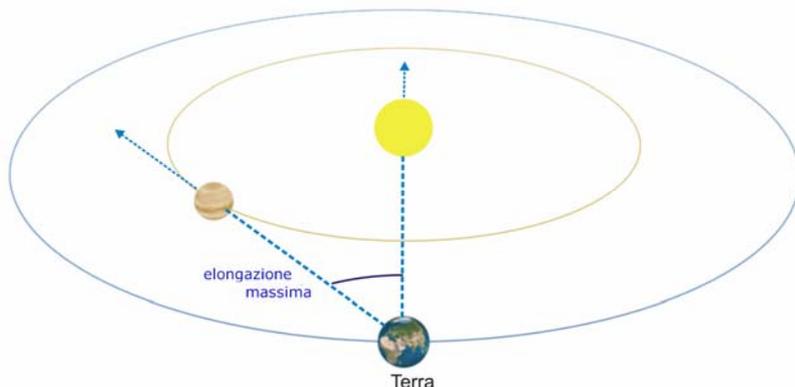


fig. 2 Massima elongazione orientale di un pianeta interno (F.Martinelli)

Terra, quando è in **opposizione** invece il pianeta è visibile per tutta la notte, sorgendo quando il Sole tramonta e tramontando al suo sorgere.

Si hanno infine le **quadrature** quando l'elongazione è pari a 90° .

Il periodo di tempo che intercorre tra una congiunzione e l'altra è praticamente fisso, salvo piccole variazioni dovute alle irregolarità e alle perturbazioni delle orbite. Tale periodo prende il nome di **rivoluzione sinodica**. L'aggettivo *sinodico* deriva dal termine greco *sinodo* e significa *camminare assieme* ed in astronomia viene usato per indicare quei cicli al cui termine un astro si ripresenta nella stessa posizione o condizione rispetto alla Terra.

Una rivoluzione completa di un astro intorno ad un altro, rispetto allo sfondo delle stelle ritenute fisse, viene definita invece **siderale**.

I due periodi non coincidono e la differenza è dovuta al fatto che il nostro punto di vista, sulla Terra, non è fisso nello spazio ma "rivoluziona" intorno al Sole, cambiando quindi continuamente di posizione rispetto alle stelle.

Ad esempio, una rivoluzione completa della Luna attorno alla Terra, rispetto alle stelle, ha la durata di 27,3 giorni e si chiama *mese siderale*. Nel frattempo però la Terra ha percorso un tratto della sua orbita e, rispetto al Sole, non vede più la Luna nella stessa direzione. Per riportarsi nella stessa condizione di partenza e ripresentarsi con lo stesso aspetto, cioè con la *stessa fase*, la Luna deve percorrere un ulteriore tratto di orbita e completare il *mese delle fasi lunari* in 29,5 giorni.

Transiti dei planeti interni

Se le orbite dei planeti interni fossero tutte complanari, accadrebbe che, ad ogni *congiunzione inferiore*, si vedrebbe passare il Pianeta sullo sfondo del disco solare. Invece il piano orbitale terrestre e quello degli altri planeti si intersecano secondo un angolo, seppur piccolo, diverso da pianeta a pianeta; l'intersezione dei due piani orbitali è detta **linea dei nodi**.

Affinché il **transito** di un pianeta *interno* sia osservabile dalla Terra occorre che la congiunzione si verifichi quando il pianeta attraversa il piano dell'orbita terrestre, sia cioè sulla **linea**

dei nodi (fig.3).

Se la congiunzione avviene lontana dalla linea dei nodi il pianeta interno passa troppo al di sopra o troppo al di sotto del Sole e non si può avere un transito, se invece avviene esattamente in uno qualunque dei due nodi si vedrà il pianeta attraversare il disco del Sole secondo un suo diametro (fig.4).

Dato che il disco solare ha dimensioni apparenti sensibili non è necessario che la congiunzione avvenga esattamente nel nodo, basta che avvenga nelle sue immediate vicinanze. In questo caso Venere, o anche Mercurio, attraverserà il disco solare secondo una corda più o meno lunga, e quindi più o meno interna in base alla lontananza dal nodo (fig.5).

Questa doppia esigenza, congiunzione e passaggio alle vicinanze del nodo, rende il fenomeno estremamente raro.

Rispetto al periodo della rivoluzione sinodica di Venere, la frequenza con cui si verificano i transiti di Venere è estremamente bassa. Mercurio, più vicino al Sole, ha maggiori possibilità di passare sul disco solare anche se più lontano dai relativi nodi e pertanto la frequenza dei suoi transiti è notevolmente più alta.

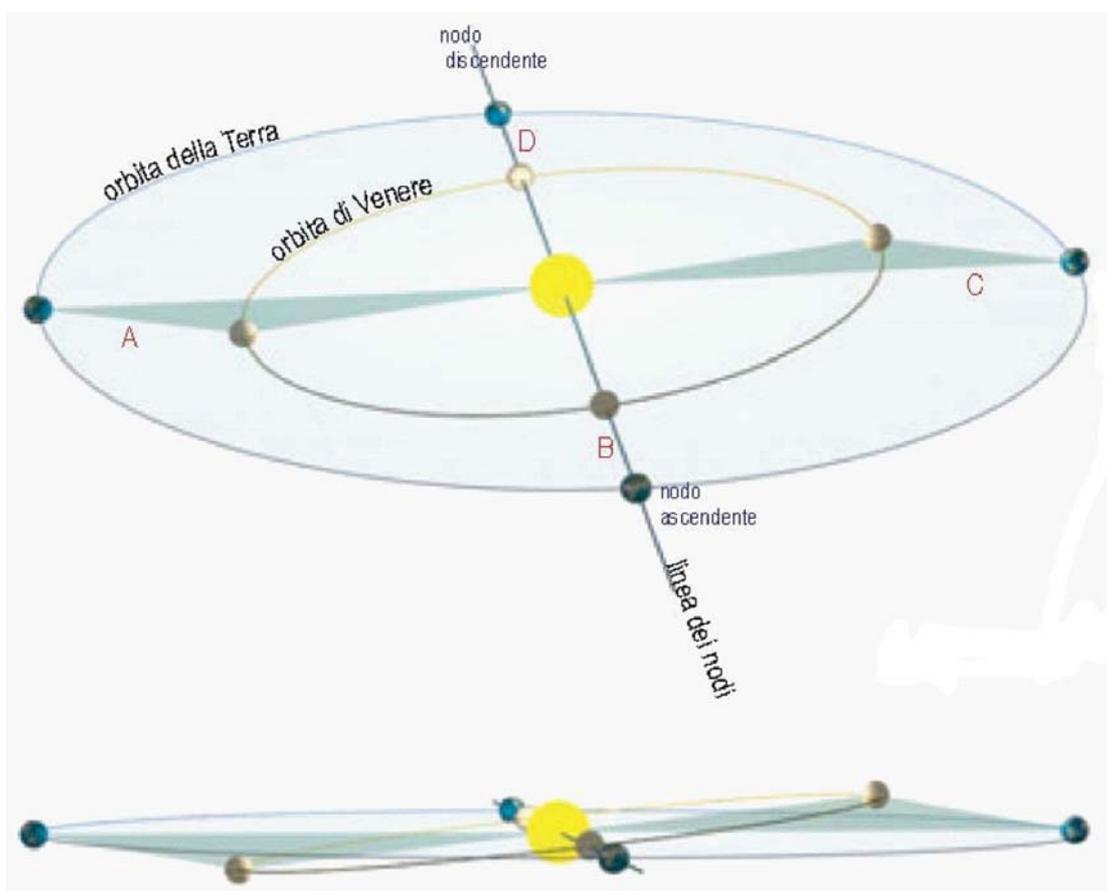


fig.3 Linea dei nodi delle orbite di Venere e della Terra

(F.Martinelli)

Periodicità dei transiti di Venere

La **rivoluzione sinodica** di Venere è pari a circa 583,9 giorni e, pertanto, a tale intervallo di tempo si ripetono le congiunzioni e, potenzialmente, i transiti. La sua **rivoluzione siderea** è di circa 224,7 giorni, mentre quella della Terra è di circa 365,3 giorni (i valori sono arrotondati per semplificare il ragionamento).

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

L'orientamento della linea dei nodi, per periodi non troppo lunghi, rimane praticamente immutata nello spazio, per cui Venere e Terra ritorneranno in un nodo quando entrambe avranno compiuto un opportuno numero intero di rivoluzioni siderali.

Il rapporto tra il periodo di rivoluzione sinodica di Venere e di rivoluzione della Terra (583,9/365,3) è pari a circa 1,63; se si moltiplica tale numero per una successione di numeri interi 1, 2, 3, ecc., corrispondenti ad anni terrestri, si ottiene il primo risultato approssimativamente intero nel prodotto per 8.

$$\begin{aligned}2 \times 1,63 &= 3,26 \\3 \times 1,63 &= 4,89 \\4 \times 1,63 &= 5,52 \\5 \times 1,63 &= 8,15 \\6 \times 1,63 &= 9,78 \\7 \times 1,63 &= 11,41 \\8 \times 1,63 &= 13,04\end{aligned}$$

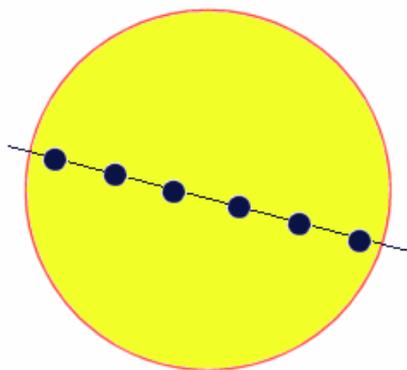


fig.4 Transito di un pianeta davanti al Sole in uno dei nodi (F.Martinelli)

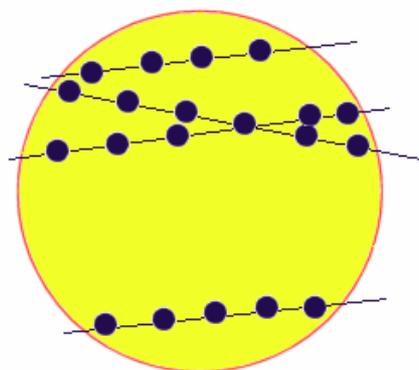


fig.5 Transiti possibili di un pianeta interno nelle vicinanze della linea dei nodi (F.Martinelli)

Questo significa che, dopo otto rivoluzioni siderali della Terra (8 anni), Venere avrà compiuto 13 rivoluzioni siderali ed entrambi i pianeti si ritrovano, quasi esattamente, sulla linea dei nodi, offrendo l'opportunità di un transito.

Inoltre 8 anni contengono quasi esattamente 5 congiunzioni di Venere, infatti

$$5 \times 583,9 \text{ giorni} = 2919,5.$$

Tutto torna, e ci si può dunque aspettare che i transiti si verifichino ad intervalli di otto anni; questa però, come dimostrano i fatti, è più una eccezione che una regola.

Il problema consiste in tutti quei "quasi" disseminati nel discorso precedente. Il ciclo di otto anni non è perfetto e nonostante alcune tolleranze si disallinea quasi subito. Ogni volta Venere si presenta al nodo un pochino più lontano e ad ogni successivo transito potenziale la traiettoria di Venere sul disco si sposta mediamente di 22' di arco. Poiché il diametro del Sole è circa 32', nella migliore delle ipotesi, cioè con Venere che transita nella parte più alta del Sole, ad esempio a 2-3' dal bordo, al successivo transito passerà a 25' e a quello ancora successivo passerà al di fuori del disco.

E' dunque impossibile avere tre transiti successivi a distanza di otto anni uno dall'altro.

Utilizzando dati più rigorosi e tenendo conto anche del fatto che i nodi sono due, ed oltretutto si spostano, si ottiene un ciclo della durata di 243 anni al termine del quale i transiti si ripresentano con grande precisione.

All'interno di questo ciclo si possono verificare transiti con cadenze diverse. Attualmente la sequenza è costituita dai seguenti intervalli:

$$8 + 105,5 + 8 + 121,5 = 243$$

ma nel passato si sono avute anche le sequenze:

$$121,5 + 121,5 = 243$$

$$8 + 113,5 + 121,5 = 243$$

$$8 + 105,5 + 129,5 = 243$$

Quando si cade in un periodo con metà anno significa che il transito, rispetto al precedente, si verifica al nodo opposto. Esiste inoltre un ciclo ancora più accurato della durata di 478 anni il quale è costituito da due cicli di 243 anni più uno di 8.

Come si vede sono numeri ricorrenti, in particolare l'8 che possiamo considerare elemento base di tutte le cadenze. Anche la differenza tra i numeri notevoli 105,5, 113,5, 121,5, e 129,5 è sempre 8, ed anche il periodo di 105,5 anni è molto vicino ad un multiplo di 8.

L'ultimo transito di Venere, prima del 2004, si è avuto il 6 dicembre 1882 e dall'Italia non è stato visibile completamente. Si è potuto assistere solo all'ingresso del pianeta sul disco e poi, ad un terzo circa del suo percorso, il Sole è tramontato.

Anche il prossimo transito del 6 giugno 2012, sarà solo parzialmente visibile dall'Italia, si vedrà la parte terminale e si assisterà al sorgere del Sole con Venere già oltre una buona metà del suo percorso.

Il transito del 2117 non sarà visibile per niente mentre quello del 2125 potrà essere osservato solo nella parte iniziale.

Il prossimo primo transito completo visibile nel nostro paese sarà quello del 2247.

Modalità del transito

Essendo Venere più vicino al Sole di quanto non lo sia la Terra, per la terza legge di Keplero, percorre la propria orbita con una velocità maggiore rispetto al nostro pianeta. Dopo l'istante in cui i due pianeti risultano allineati, Venere apparirà sempre più spostato verso destra.

La *velocità relativa* di Venere, corrispondente alla *differenza* tra la *velocità angolare della Terra e quella del pianeta*, risulta di 4' di arco all'ora in senso orario, o retrogrado, come si dice in astronomia.

In conseguenza di ciò durante un transito si vede Venere entrare nel disco del Sole da sinistra verso destra. Poiché il diametro apparente del Sole è pari a 31,5' nel mese di Giugno o 32,2' nel mese di Dicembre, ne consegue che un transito centrale, che si verifica esattamente in corrispondenza del nodo e con il percorso apparente lungo un diametro del disco solare, può durare al massimo rispettivamente 7^h50^m o poco più di 8^h.

Le traiettorie risultano inclinate e quando il transito avviene al nodo discendente (Giugno) l'estremità sinistra è più alta di quella destra, mentre al nodo ascendente avviene il contrario.

Occorre precisare che i percorsi sul disco solare che si vedono rappresentati in tutti i disegni, sono riferiti al disco solare considerato immobile e con il Polo Nord Celeste in alto.

Un comune osservatore quando guarda il Sole ha come riferimento l'orizzonte, e dunque in alto ha lo Zenit e non il Polo Celeste. Per questo motivo non si deve attendere che la traiettoria sia esattamente orientata come in figura; inoltre, durante le cinque-sei o sette ore del transito, per effetto del suo apparente moto diurno sulla Sfera celeste, il Sole subisce una rotazione attorno al proprio centro che sposta ulteriormente la traiettoria apparente. I disegni con i percorsi dei transiti sono corretti, se riferiti all'orizzonte dell'osservatore, solo per l'istante del passaggio al meridiano locale e quindi intorno al mezzogiorno.

A differenza di una Eclisse di Sole, il

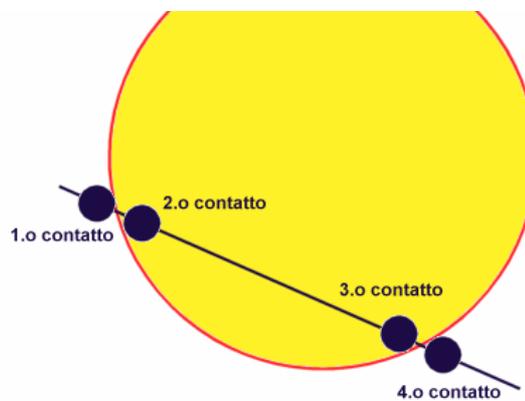


fig.6 Fasi o contatti del transito (F.Martinelli)

transito è osservabile per intero da una buona parte della superficie terrestre ed il fenomeno si presenta in maniera quasi uniforme per tutte le località interessate. La lunghezza della corda percorsa da Venere sul disco solare è influenzata principalmente dalla latitudine dell'osservatore ma le due corde osservate da osservatori posti agli estremi delle zone di visibilità differiscono sostanzialmente poco una dall'altra e risultano, ad una osservazione grossolana, praticamente coincidenti; i tempi delle durate del transito differiscono solo di alcuni minuti.

Nel transito si individuano **quattro fasi salienti**, indicate con il termine **contatti** (fig.6). Il fenomeno inizia con *il primo contatto*; il bordo del pianeta tocca esternamente il bordo del Sole ed inizia il suo percorso sul disco giallo. La fase si osserva solo dopo che Venere ha iniziato ad intaccare il disco, non potendosi osservare direttamente il pianeta. Il *secondo contatto* si ha quando il dischetto nero del pianeta è entrato completamente nel disco solare e ne tocca internamente il bordo. Il *terzo ed il quarto contatto* sono analoghi, rispettivamente al secondo e al primo, e si verificano sul lembo opposto del Sole con il pianeta in uscita.

Esiste inoltre una *quinta fase*, quella della minima distanza del pianeta dal centro del Sole, di cui di solito viene fornito l'orario come per i contatti, ma che per l'osservatore non riveste particolare importanza.

Durante le fasi di attraversamento del bordo, è possibile osservare un tenue alone intorno a Venere. E' la sua atmosfera, illuminata in controluce.

L'importanza dei transiti di Venere nel passato

L'epoca dei transiti planetari sul disco del Sole è iniziata con l'invenzione del telescopio.

Salvo casi rarissimi la visione ad occhio nudo di un transito non è possibile. Questo non esclude che nel passato, non si siano mai potuti osservare; infatti nel caso in cui il transito si verifici al sorgere o al tramonto del Sole, quando la sua luce non è ancora abbagliante, per pochi istanti il suo disco è osservabile ad occhio nudo ed è possibile rilevare sulla sua superficie, nonostante le deformazioni dovute all'intensa rifrazione atmosferica, eventuali macchie.

E' possibile dunque che nel passato si siano osservati transiti, per lo meno di Venere, anche se non se ne ha traccia documentale, e, probabilmente, chi ne è stato testimone non ne ha avuto la consapevolezza e ha giustificato l'osservazione attribuendone la natura a fenomeni atmosferici.

Il primo a rendersi conto della possibilità teorica dei transiti fu Keplero che predisse per il 1631 il passaggio sia di Mercurio che di Venere sul disco solare. Keplero invitò astronomi e scienziati del tempo ad osservare il transito. L'osservazione avrebbe infatti confermato, o meno, l'affidabilità e la precisione delle sue tavole astronomiche e dei calcoli utilizzati per la loro compilazione. Keplero morì nel 1630 e non poté osservare i transiti.

Il transito di Mercurio fu visto e registrato solo da Gassendi. I calcoli di Keplero erano sbagliati solo di 6 ore; non male per quei tempi. L'imprecisione era dovuta sostanzialmente ad una errata stima della distanza Terra-Sole (circa sette volte meno di quella reale). Tale sottostima fece sì che Keplero non prevedesse il successivo transito di Venere nel 1639, ma solo quello del 1761.

Un giovane inglese appassionato di astronomia, Jeremiah Horrocks, utilizzando le tavole di un altro astronomo, si avvide dell'errore, rifece tutti i calcoli, confermò il transito per il 4 Dicembre 1639 con un errore di poco più di mezz'ora e predisse con grande precisione il diametro apparente di Venere.

Nel 1677 **Edmund Halley** osservando dall'isola di Sant'Elena il transito di Mercurio, ebbe l'idea che la determinazione esatta degli istanti di contatto potesse essere utilizzata per determinare, finalmente con buona precisione, la distanza Terra-Sole o, come si preferisce enunciare in termini astronomici, **la parallasse solare**¹, cioè l'angolo sotto il quale dal Sole si vede il raggio terrestre (fig.7). Ipotizzò che due osservatori, A e B, osservano il transito di Venere da due posizioni differenti, per cui le corde percorse dal pianeta sul disco solare appaiono diverse, per effetto della parallasse

Halley suggerì di sfruttare i transiti di Venere, che si sarebbero verificati nel 1761 e nel 1768, perché risultavano più appropriati di quelli di Mercurio per il calcolo. Rese pubblica una raccomandazione, ed il metodo di calcolo, a tutto il mondo scientifico in modo che si preparasse con

¹ vedi Scheda didattica SD5

sufficiente anticipo all'evento e si potesse così porre fine all'annosa questione della determinazione della distanza del Sole e dare un valore assoluto alla scala del Sistema Solare.

Occorre aggiungere che in poco più di un secolo l'entità della distanza era stata notevolmente migliorata ed il valore della parallasse, oggi stabilito in $8.9''$ di arco, nel 1760 era stimata tra gli 8 e i 10 secondi. Era un valore molto vicino alla realtà, ma per gli astronomi e per le esigenze di precisione dei loro calcoli, aumentate dal miglioramento tecnologico della strumentazione disponibile, era comunque un valore inadeguato.

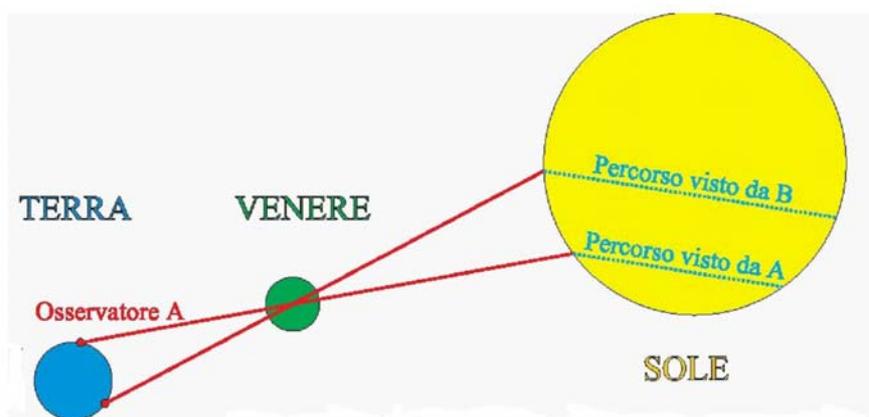


fig.7. Rappresentazione del metodo dei transiti di Halley. Due osservatori, A e B, osservano il transito di Venere da due posizioni differenti, per cui le corde percorse dal pianeta sul disco solare appaiono diverse, per effetto della parallasse.

(F.Pacucci)

Come Keplero, neppure Halley poté osservare i transiti per i quali aveva raccomandato l'osservazione ma il suo invito fu raccolto da governi e istituzioni scientifiche di diversi paesi. Per la misura della parallasse solare era indispensabile confrontare le osservazioni effettuate contemporaneamente da località molto lontane tra di loro in modo da disporre del

tracciato di due corde, sul disco solare, sufficientemente separate tra loro

Era pertanto necessario inviare spedizioni scientifiche in giro per il mondo con tutti gli enormi costi che ne sarebbero risultati. All'epoca infatti i mezzi di trasporto più efficienti erano le navi a vela che, per raggiungere le località designate, impiegavano alcuni mesi di navigazione.

Nonostante tutte le difficoltà operative ed economiche che per l'epoca è facile immaginare, furono diversi i paesi e le spedizioni che intrapresero l'avventura dei transiti di Venere. Si ebbero delle vere e proprie avventure, che ad alcuni costarono anche la vita. Chi è interessato ad approfondire questi aspetti può trovare su internet informazioni esaurienti basandosi su chiavi di ricerca come ad esempio: Transito di Venere, Keplero, Horrocks, Gassendi, Halley, James Cook, Cassini, Bradley, Maskelyne, Delisle, Le Gentil. Interessante è anche il volumetto di Delaunay intitolato *"Passaggi di Venere"* che descrive con dovizia di particolari, anche scientifici e teorici, le spedizioni effettuate dagli astronomi francesi.

A fine capitolo si propone una descrizione del metodo di Halley.

Contrariamente alle aspettative, l'osservazione dei due transiti non risolse il problema e la non uniformità delle osservazioni e dei risultati dei calcoli non migliorò l'incertezza con la quale era stimata la parallasse solare; in qualche caso addirittura la peggiorò. Il transito del 1768 fu meglio sfruttato da questo punto di vista, grazie anche alle esperienze accumulate nel transito precedente e portò, secondo Delaunay, a stime della parallasse comprese tra $8,5''$ e $8,9''$.

Questi valori che a prima vista sembrerebbero più che soddisfacenti lasciarono insoddisfatti gli astronomi del tempo. Halley infatti aveva predetto che con le osservazioni dei transiti si sarebbe arrivati alla determinazione della parallasse solare con una incertezza di $1/500$, mentre invece si erano ottenuti valori con incertezza di circa $1/20$.

Goccia nera e atmosfera venusiana

Durante le osservazioni si era infatti manifestato un fenomeno inatteso, noto come **"la goccia nera"**(fig.8). Halley aveva stimato che i tempi dei contatti potessero essere determinati con la precisione del secondo, più che sufficiente per avere risultati attendibili.

Alla prova dei fatti il secondo ed il terzo contatto non si mostrarono così netti in quanto al

momento del distacco, o attacco del pianeta dal lembo solare, il dischetto nero, quasi fosse elasticamente fissato al bordo del Sole, assunse un aspetto allungato, proprio a forma di goccia, impedendone di valutare l'istante esatto. Quello che stupì gli scienziati fu che la durata di questo allungamento risultò estremamente varia a seconda dell'osservatore .

Nonostante gli astronomi fossero dei professionisti e ben abituati ad osservare fenomeni al telescopio si riscontrarono differenze che andavano da alcuni secondi a più di un minuto. L'interesse per la questione tornò a farsi viva un secolo dopo, in occasione dei due transiti del 1874 e del 1882, ma anche questa volta i risultati non soddisfecero le aspettative degli scienziati.

Il fenomeno della "goccia nera", è di natura esclusivamente ottica in quanto non c'è alcuna interazione tra la massa e la forma del pianeta e quella del Sole.

Inoltre Venere possiede una atmosfera a base di anidride carbonica piuttosto consistente. Quando il pianeta si trova nelle vicinanze del bordo solare è possibile osservare il tenue alone dell'atmosfera venusiana sullo sfondo nero del cielo, illuminato in controluce. L'osservazione dell'atmosfera non è facile a realizzarsi perché utilizzando un filtro solare, che è molto intenso, l'aureola potrebbe non risaltare. L'atmosfera fu osservata per la prima volta da Lomonosov nel transito del 1761.

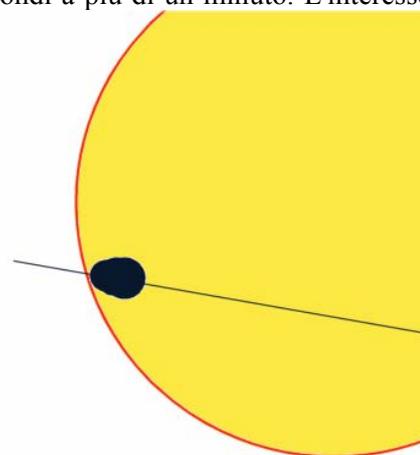


fig.8 Il fenomeno della goccia nera (F.Martinelli)

Previsioni del transito dell'8 giugno 2004

Le dimensioni di Venere sono tali che nel transito esso appare sullo sfondo del disco solare come una macchia rotonda ben netta e visibile. Il suo diametro è circa 1/30 di quello del Sole; non è poco.

Nel transito di Mercurio del 2003 il pianeta si mostrava ben visibile, pur essendo solo 1/160 del disco solare.

Venere è 6 volte maggiore e grande è stata, durante l'attesa dell'evento del 2004, l'emozione al pensiero di vederlo transitare sullo sfondo di eventuali enormi macchie solari, dando l'impressione di precipitarvi dentro. Secondo le previsioni, il transito doveva iniziare alle 7^h20^m.

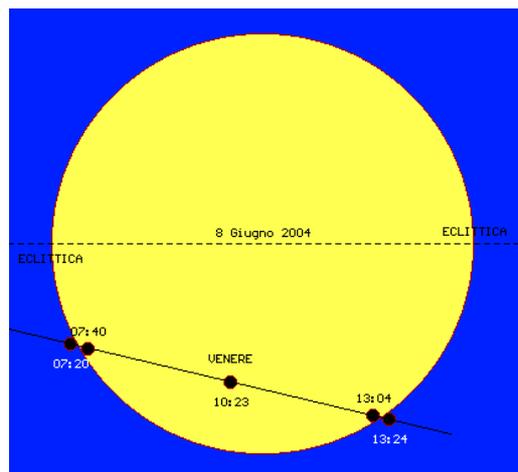


fig.9 La previsione del transito di Venere dell'8 giugno 2004 (F.Martinelli)

In tale istante il bordo del Sole doveva cominciare ad essere intaccato dal disco di Venere e oltre il bordo solare si sarebbe potuto vedere l'immagine controluce dell'atmosfera di Venere (fig.9).

Il centro del Sole doveva trovarsi ad una altezza sull'orizzonte di 16°. Venere doveva impiegare circa 20 minuti per entrare completamente nel Sole.

Alle 7^h40^m si prevedeva il secondo contatto e a partire da tale istante si sarebbe dovuto manifestare il fenomeno della goccia nera, la cui durata non è prevedibile, in quanto il fenomeno si presenta ogni volta con caratteristiche diverse; orientativamente, si ipotizzava che durasse una trentina di secondi almeno, anche se si sono registrate durate di oltre un minuto e mezzo.

Finalmente libero dalla ...goccia nera Venere doveva cominciare a camminare sul disco solare, e alle 10^h23^m si doveva trovare a metà del suo percorso. Pochi secondi dopo le 13^h doveva tornare a manifestarsi il fenomeno della goccia nera, in corrispondenza del secondo contatto interno, dopodiché Venere doveva iniziare ad uscire all'esterno del disco.

Alle 13^h24^m il transito doveva terminare e si doveva di nuovo osservare per qualche attimo il bagliore dell'atmosfera di Venere.

Transito Di Venere osservato dall'Istituto Tecnico Nautico di Viareggio

Presso l'I.T.N."Artiglio" di Viareggio si è organizzata con le classi l'osservazione del transito di Venere e si riportano di seguito i dati salienti di questo evento (tab.1) e alcune immagini acquisite con la strumentazione della scuola.

Il transito di Venere dell'8 giugno 2004 osservato presso l'I.T.N."Artiglio" di Viareggio con la webcam collegata al telescopio Newton 114/900			
Evento	Ora osservata	Ora prevista	Note
1°contatto	07 ^h 21 ^m circa	07 ^h 20 ^m 09 ^s	L'ora è approssimativa in quanto l'evento è stato registrato solo dopo che si è reso sufficientemente visibile l'ingresso di Venere sul Sole. L'atmosfera era abbastanza turbolenta ed il bordo del Sole leggermente frastagliato non ha consentito l'immediata percezione dell'intaccatura sul disco.
2°contatto	07 ^h 40 ^m circa	07 ^h 39 ^m 54 ^s	La percezione del contatto è "durata" dalle 07 ^h 39 ^m 30 ^s alle 07 ^h 40 ^m 30 ^s , sempre per la non perfetta linearità del bordo solare. Come valore medio si è assunto l'orario a fianco indicato. (fig.10,11)
metà del percorso	10 ^h	10 ^h 23 ^m	La nostra percezione è stata solo indicativa (fig. 12)
3°contatto	13 ^h 04 ^m 35 ^s	13 ^h 04 ^m 27 ^s	E' stato meno difficoltoso valutarne l'istante essendo il Sole più alto e l'atmosfera meno turbolenta. Si ritiene buona la stima dell'orario, con l'incertezza di una decina di secondi. (fig.13)
4°contatto	13 ^h 23 ^m 45 ^s	13 ^h 23 ^m 49 ^s	E' stato meno difficoltoso valutarne l'istante essendo il Sole più alto e l'atmosfera meno turbolenta (fig.14). Si ritiene buona la stima dell'orario, con l'incertezza di una decina di secondi.

tabella 1 Principali date del transito di Venere dell'8 giugno 2004

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Le immagini seguenti sono state acquisite con una camera digitale appoggiata all'oculare del telescopio.

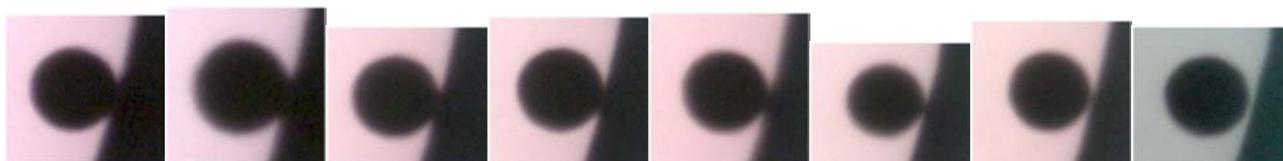


fig.10 La sequenza dell'ingresso interno di Venere (2° contatto) col fenomeno della goccia nera (F.Martinelli)

Altre fasi salienti del transito di Venere dell'8 giugno 2004



fig.11 Venere subito dopo il 2° contatto (foto invertita sx-dx) (F. Martinelli)

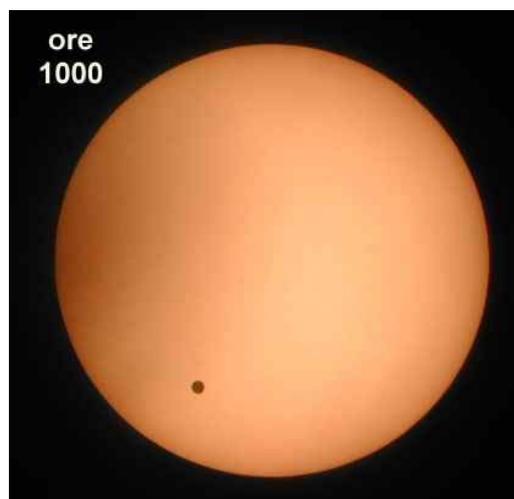


fig. 12 Venere a metà del suo percorso. (foto invertita sx-dx) (F. Martinelli)



fig. 13 Venere al 3° contatto (foto rovesciata e invertita sx-dx) (F.Martinelli)



fig. 14 Venere esce dal disco solare alle 13.^h10^m circa (foto rovesciata e invertita sx-dx) (F. Martinelli)

Calcolo della parallasse solare secondo il metodo di Halley

Dal 1882 fino al 2004-, il transito di Venere non si era più verificato, ma la scienza e la tecnologia nel frattempo hanno elaborato e fornito altri metodi per determinare con precisione l'entità della parallasse solare.

Il transito del 2004 si è rivelato utile per riproporre il **metodo di Halley**, almeno a scopo didattico. L'idea del grande astronomo, sfrondata dalle complesse formule matematiche, si può riassumere in un semplice concetto ed in una semplice modalità operativa (fig.7). E può essere riproposta anche ora come attività didattica sfruttando la marea di immagini presenti in internet.

Assunto un valore arbitrario per la parallasse solare si considera la durata di un transito per due diverse località, molto distanti tra di loro in modo da avere il massimo di differenza possibile nei tempi. Poiché la differenza tra i tempi è proporzionale alla parallasse basta confrontare i tempi dei transiti effettivamente misurati nelle località per determinarne il valore reale.

Risolvendo la semplice proporzione: $Pa : dtc = Pr : dfo$

dove

Pa = Parallasse approssimata dfo= differenza dei tempi calcolata

Pr = Parall. reale dtc= differenza dei tempi osservata

si ottiene

$$Pr = Pa \cdot dtc / dfo$$

A rigore il calcolo andrebbe ripetuto rieseguendo i calcoli teorici dei tempi con il nuovo valore della parallasse, sino a quando quest'ultima non mostri differenze significative rispetto al valore precedente. In pratica è sufficiente reiterare il calcolo quattro o cinque volte.

L'unico problema di questo metodo è costituito dalla complessità del calcolo dei tempi, che non è proprio alla portata di tutti.

A livello didattico è comunque sufficiente risolvere una volta sola la proporzione sopra citata.

L'altro inconveniente è quello di disporre dei dati di osservazione di una o più località lontane. Ma questo oggi non è certo un problema, grazie ad Internet.

Resta comunque il problema di avere tempi per le diverse località calcolati, non per l'attuale valore della parallasse come si trovano comunemente sulle tavole astronomiche, bensì per il valore fasullo e ipotizzato da Halley di 10".

A tale scopo è stato predisposto sul sito dell'Istituto Nautico "Artiglio" di Viareggio all'indirizzo http://www.nauticoartiglio.lu.it/almanacco/transvenus/T_venus_parcomp_it.htm un calcolatore di tempi sulla base di tale valore e che consente di ottenere direttamente la parallasse effettiva.

6SDE.1 Misurazione dell'Unità Astronomica con il transito di Venere davanti al Sole

La giostra cosmica proseguiva inesorabile la sua folle danza e l'approssimarsi dell'evento astronomico dell'anno, il transito di Venere sul Sole (Fig. 1), mi fece venire in mente che avevamo l'occasione unica di ripetere una misurazione storica: la determinazione della distanza fra la Terra e il Sole, **l'Unità Astronomica**.

Scuola : Liceo Scientifico Statale "G. Battaglini"– Taranto
 Istituto I. Superiore "G.Falcone" - Loano (SV)
 Referenti: prof. Fernando Carta,
 studente Fabio Pacucci - Taranto
 prof. Ugo Ghione - Loano (SV)
 Data : 8 giugno 2004

Il Sole è l'unico corpo celeste di cui non si può calcolare la parallasse facendo riferimento alle stelle di sfondo, semplicemente perché non si vedono .

Halley propose il metodo dei transiti di Venere sul Sole per misurare la parallasse solare e quindi l'Unità Astronomica. Sfruttando l'idea originaria del grande astronomo inglese, ho proposto alla Rete di Eratostene di utilizzare un metodo completamente diverso.

Infatti ho proposto di prendere due punti di riferimento solidali al Sole, una coppia di macchie solari, per poter misurare lo spostamento del pianeta rispetto al Sole.

Era evidente che questo angolo non rappresentava la parallasse assoluta di Venere, misurata cioè rispetto a uno sfondo immobile, poiché il suo spostamento è rilevabile solo rispetto a un riferimento solidale al Sole e anche esso possiede una parallasse, non trascurabile rispetto a quella del pianeta . L'unico dato ricavabile dalla misurazione era la parallasse relativa fra Venere e il Sole (P_{VS}). Gli angoli di parallasse sono legati da questa formula $P_{VS} = P_V - P_S$; i pedici S , T e V indicano da ora in poi rispettivamente Sole, Terra e Venere .

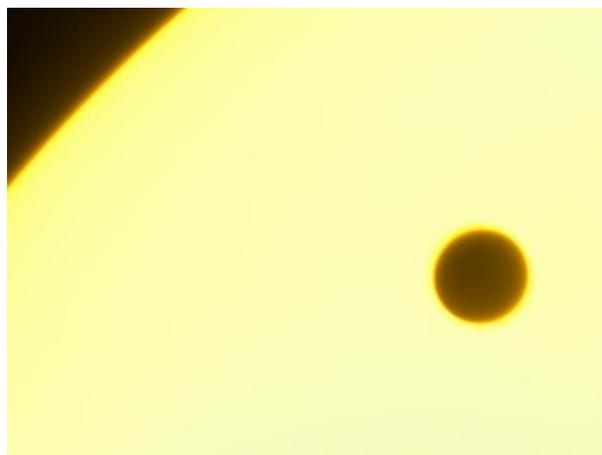


fig.1 Fotografia di un sogno... ad occhi aperti: Venere transita davanti al Sole! (F. Pacucci, dall'Osservatorio Astronomico "Isaac Newton")

Dovevamo trovare un metodo per estrapolare la parallasse, assoluta, del Sole da questo dato.

Gli astronomi del passato non avevano la minima idea della reale grandezza del Sistema Solare, ma potevano benissimo misurare il periodo orbitale degli "astri erranti", i pianeti. Agli inizi del Seicento, agli albori dell'eliocentrismo, un astronomo tedesco, Johannes Kepler, scoprì tre leggi che regolano il moto dei pianeti intorno al Sole, le pietre angolari della meccanica celeste .

Per i nostri scopi, di particolare importanza è la **Terza Legge di Keplero**: "*I quadrati dei periodi orbitali dei pianeti sono direttamente proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle rispettive orbite*".

Per due pianeti X e Y, la legge di Keplero si esprime in questo modo:

$$\frac{T_X^2}{T_Y^2} = \frac{D_{X-S}^3}{D_{Y-S}^3}$$

dove T= periodo orbitale e D= semiasse maggiore dell'orbita.

I periodi orbitali sono perfettamente misurabili e così, come per magia, possiamo disporre di un dato fondamentale: il rapporto fra le distanze dei tre corpi celesti che stiamo considerando (Sole, Venere e Terra). Conoscere questo rapporto significò compiere un "balzo da gigante" nello studio dell'Universo.

Nel nostro piccolo, lo stesso rapporto ci permette di dire , a partire dalla parallasse relativa fra Venere e il Sole (che noi misuriamo), quale *fetta* appartiene al Sole e quale al Pianeta

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

Questa è l'idea alla base del metodo proposto: misurare, tramite due macchie solari, la parallasse relativa fra Venere e il Sole e, tramite la Terza Legge di Keplero, discernere le due parallassi assolute (Fig.2).

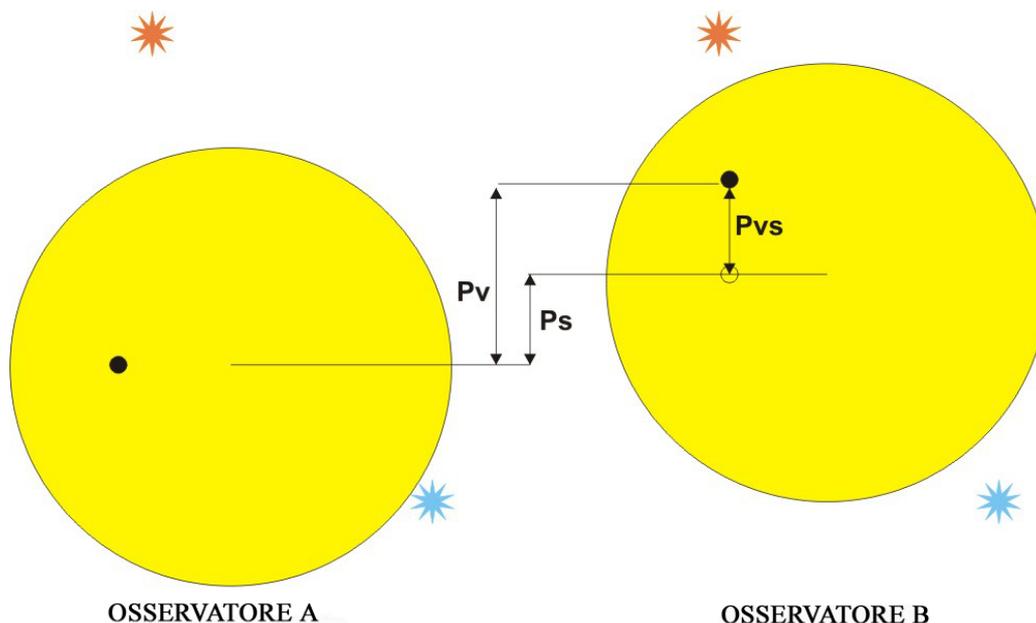


Figura 2. Se due ipotetici osservatori potessero osservare contemporaneamente il Sole e due stelle di sfondo, ecco ciò che vedrebbero: il Sole e il pianeta si spostano, rispetto al sistema di riferimento stellare, di angoli differenti. E' la parallasse!

(F.Pacucci)

A partire da essa, si può ricavare una formula per il calcolo, la cui dimostrazione è riportata di seguito. Nulla vieta però di trovare altre strade!

Applicando la Terza Legge di Keplero al sistema Sole-Terra-Venere otteniamo:

$$\frac{T_V^2}{T_T^2} = \frac{D_{V-S}^3}{D_{T-S}^3} \Rightarrow \frac{D_{V-S}}{D_{T-S}} = \sqrt[3]{\frac{T_V^2}{T_T^2}}$$

La radice cubica del rapporto fra i quadrati dei periodi orbitali è un dato acquisito, che definiamo K, quindi:

$$\frac{D_{V-S}}{D_{T-S}} = K$$

Esiste una differenza fondamentale fra la Legge di Keplero e il metodo della parallasse. La prima permette di misurare distanze **eliocentriche** (dal Sole), la seconda distanze **geocentriche** (dalla Terra).

Per proseguire nel calcolo dobbiamo ricondurre le distanze eliocentriche della formula precedente in distanze geocentriche. In particolare, dobbiamo scrivere la distanza fra Venere e il Sole in funzione della Terra:

$$D_{V-S} = D_{T-S} - D_{V-T}$$

Sostituendo questo valore nella formula precedente, otteniamo:

$$\frac{D_{V-T}}{D_{T-S}} = 1 - K$$

Poiché la distanza fra Venere e la Terra¹ è data anche da

¹ vedi Scheda didattica 5SD

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

$$D_{V-T} = \frac{L}{2 \operatorname{sen} P_V}$$

e la distanza fra la Terra e il Sole è

$$D_{T-S} = \frac{L}{2 \operatorname{sen} P_S}$$

dove L è la distanza fra gli osservatori e P è il relativo angolo di parallasse, sostituendo questi valori nella formula

$$\frac{D_{V-T}}{D_{T-S}} = 1 - K$$

otteniamo

$$\frac{L}{2 \operatorname{sen} P_V} \cdot \frac{2 \operatorname{sen} P_S}{L} = 1 - K$$

da cui

$$\frac{2 \operatorname{sen} P_S}{2 \operatorname{sen} P_V} = 1 - K$$

Si tratta del rapporto fra i seni di due angoli molto piccoli e per semplificare i calcoli si può considerare come il rapporto fra i soli angoli di parallasse. Quindi:

$$\frac{P_S}{P_V} = 1 - K \Rightarrow P_V = \frac{P_S}{1 - K}$$

Questa formula mette in relazione la parallasse del Sole e la parallasse di Venere con un coefficiente K che dipende dai periodi orbitali della Terra e di Venere; andando a sostituire il P_V trovato nella formula

$$P_{VS} = P_V - P_S \text{ si ottiene}$$

$$P_{VS} = \frac{P_S}{1 - K} - P_S$$

da cui

$$P_S = \frac{P_{VS}(1 - K)}{K}$$

e sostituendo questo valore nella formula

$$D_{T-S} = \frac{L}{2 \operatorname{sen} P_S}$$

si ottiene

$$D_{T-S} (UA) = \frac{L \cdot K}{2 \operatorname{sen} P_{VS} (1 - K)}$$

In questo modo l'Unità Astronomica è ricondotta in funzione dei seguenti valori: distanza fra gli osservatori (L), costante che dipende dai periodi orbitali di Terra e Venere (K) e parallasse relativa fra quest'ultimo e il Sole (P_{VS}).

Data la grande distanza degli oggetti da misurare, l'Italia non era più sufficiente: abbiamo chiesto aiuto all'estero. Hanno risposto positivamente un istituto di Teheran e uno di San Pietroburgo, ma le foto da loro riprese non evidenziavano macchie solari confrontabili.

In Italia abbiamo effettuato la misurazione il prof. Ugo Ghione da Savona e io dall'Osservatorio Newton di Uggiano Montefusco. Solo il professore è riuscito a scattare delle foto in cui erano ben visibili due macchie solari. Egli stesso è riuscito a trovare su Internet un'immagine, praticamente contemporanea della sua, scattata dall'Osservatorio Astronomico Solare di Learmonth in Australia. Contattato il direttore dell'osservatorio, abbiamo chiesto il permesso di utilizzare la fotografia per le nostre misurazioni. Accordatoci il permesso, con la tipica simpatia australiana, ci ha fatto i migliori auguri per la nostra impresa. Questo è un ottimo esempio di come la passione per le stelle sia più forte di qualsiasi confine nazionale e riesca a unire, più velocemente della luce, persone

Schede didattiche ed esempi di misurazioni effettuate

che si trovano agli antipodi del Pianeta Blu (la distanza fra i due siti è 11 490 km).

Nelle due fotografie di fig. 3 e 4, pur con qualche difficoltà, è possibile apprezzare la parallasse relativa fra i due corpi! Le due fotografie sono orientate nello stesso modo, quindi le differenze sono imputabili alla parallasse.



fig.3 Foto eseguita da Ugo Ghione a Savona alle 6 TU dell'8 giugno 2004. Nel centro della fotografia sono appena visibili due piccole macchie solari

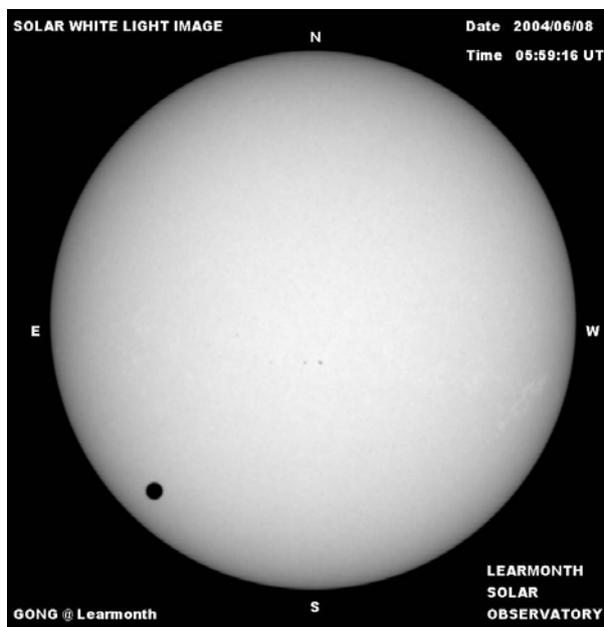


fig.4 Foto contemporanea della precedente, scattata presso il Learmonth Solar Observatory-Australia Occidentale

Tramite queste foto abbiamo misurato una distanza Terra-Sole di $(137 \pm 13) \cdot 10^6$ km.

Su tre misurazioni effettuate, la precisione è superiore al 90% ; una misura addirittura si discosta dal valore previsto di meno dell'1%!

Di questa splendida avventura resta la felicità di aver misurato con le proprie mani un frammento infinitesimale dell'Universo.

La scala delle misurazioni astronomiche è stata issata e noi, con gran divertimento, siamo saliti sul primo gradino.

E per nostra fortuna di questa scala non riusciamo ad intravedere nemmeno lontanamente la fine...

6SDE.2 Transito di Venere dell'8 Giugno 2004 da Siligo (SS) con registrazione dei tempi per l'ESO¹

Il giorno 8 Giugno 2004 Venere ha attraversato il disco del Sole. L'evento ha avuto inizio intorno alle ore 7.20 del mattino ed è terminato alle ore 13.30.

Presso l'Osservatorio Astronomico di Siligo è stata organizzata la osservazione del fenomeno in collaborazione con gli astrofili della Società Astronomica Turritana, cui hanno partecipato un gruppo di studenti del Liceo "Spano" di Sassari, le scuole dell'obbligo della zona e centinaia di persone.

Il fenomeno è stato seguito con diversi telescopi, ripreso in diretta con telecamera e proiettato per l'intera durata nella sala conferenze dell'osservatorio.

La parte più interessante della manifestazione riguardava la registrazione dei tempi esatti dei contatti del disco di Venere col disco solare.

Avevamo infatti aderito alla **campagna promossa dall'ESO** di raccolta dei tempi di transito dell'evento, con una procedura standardizzata, per calcolare la **distanza Terra-Sole (l'Unità Astronomica)** col metodo classico, proposto da Edmund Halley nel '600².

Gli osservatori sparsi per il mondo dovevano inviare via internet tutti i dati rilevati nonché, le coordinate del sito e lo strumento usato. Ci sono stati in tutto 2285 rilevamenti.

Abbiamo sincronizzato i cronometri col tempo atomico fornito dai GPS e, per ridurre l'errore sul primo contatto, abbiamo registrato l'intero evento con una telecamera professionale. L'ESO ha successivamente messo in rete un report per ciascun osservatore registrato che viene riportato di seguito.

Dai nostri dati si è ottenuto:

Distanza Terra-Sole = 149.360.026 km errore medio = 0,159 %
 Parallasse solare = 8,0882"



fig.1 Il transito di Venere presso l'Osservatorio Astronomico di Siligo (SS) (G.Cabizza)



fig.2 Studenti del Liceo "Spano" col Prof. Canizza

¹ European Southern Observatory www.eso.org

² vedi Scheda didattica 6SD

Pagina web dell'ESO con i nostri risultati

Personnal page : Cabizza Giannicola

Profile

Name : Giannicola

Surname : Cabizza

e-mail : gncabizza@tin.it

Organization :Other

Observation method : Direct filtered visual observation

Instruments / comments : 130 mm apo refractor with Hershel prism

Country : Italy

Site : Siligo

Longitude : 8.7322222 ° E

Latitude : 40.5825 ° N



Results:

In this table you get for each of timed contacts:

- the value of the average distance of the Earth from the Sun (astronomical unit, AU) calculated from your measures,
- the corresponding value of the angle under which would be seen the Earth radius from the center of the Sun (Solar parallax Π),
- their shifts from the exact values Δ (AU) et Δ (Π),
- the percentage of error of these values.
-

At the bottom of the table, you get the average value of the whole set of measurements.

Instants (UTC)	AU (km)	Π (")	Δ (AU) (km)	Δ (Π) (")	Error
1 5 h 20 m 35.00 s	149699011	8.7882	101141	0.0059	0.068 %
2 5 h 38 m 52.00 s	149058489	8.8260	539381	0.0318	0.361 %
3 11 h 6 m 1.00 s	149083310	8.8245	514560	0.0304	0.344 %
4 11 h 24 m 8.00 s	149599295	8.7941	1425	0.0001	0.001 %

Average AU = 149360026 km

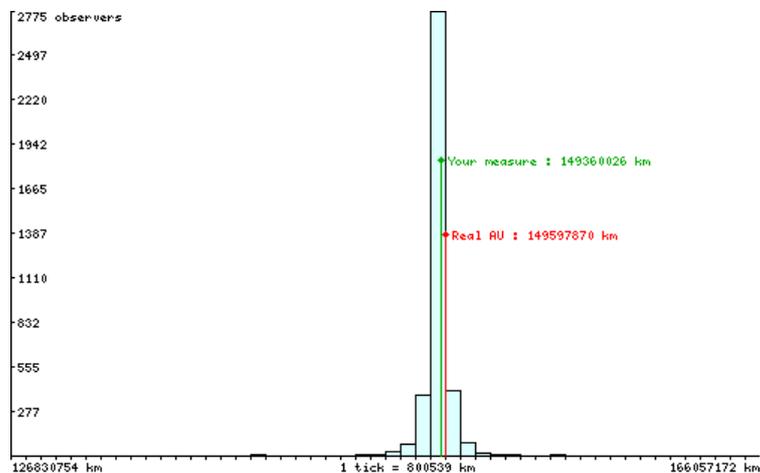
Average Π = 8.8082 "

Average error = 0.159 %

Position of your results with regard to all the measures.

The graph shows the distribution of the measures of the astronomical unit performed at this moment:

- The number of observers for every slice of values of the astronomical unit is represented by a vertical bar.
- Your own measure is represented by a green line.
- The exact value by a red line.



In viaggio su Marte

Nell'ambito della **V Settimana dell'Astronomia del 19-25 aprile 2004**, il **Miur-DGOS** in collaborazione con diverse Università e Musei Scientifici e con l'Associazione Scienza Viva di Calitri (AV) ha invitato in Italia lo **scienziato Paul Doherty**¹, dell'Exploratorium di S. Francisco che ha tenuto conferenze a Roma, Perugia, Milano, Avellino, Napoli, Pavia,

Paul Doherty ha la capacità straordinaria di comunicare la scienza, trasformando i suoi contenuti in spettacolo affascinante; egli riesce a spiegare leggi e principi scientifici complessi, rendendoli facilmente comprensibili anche ad un pubblico di inesperti con l'ausilio di esperimenti mirati, trovate geniali e battute divertenti.

La sua proposta di "viaggio" su Marte, che ricostruisce su basi scientifiche le percezioni di colori, odori e suoni che un terrestre avrebbe sul pianeta rosso, è stata accolta sempre con molto interesse; in particolare ha avuto molto successo al Teatro Comunale "Morlacchi" di Perugia, dove per oltre due ore 500 studenti sono rimasti in silenzio ad ascoltarlo, affascinati dal suo "spettacolo" di scienza (fig.1,2,3,8,9).

In queste pagine si illustra sinteticamente il "viaggio su Marte" di Paul Doherty, con brevi introduzioni teoriche sulle caratteristiche fisico-chimiche del Pianeta e sintetiche descrizioni delle attività pratiche da lui proposte, ricostruite cercando di rispettare lo stile di comunicazione immediato ed incisivo dello scienziato ed utilizzando anche i materiali pubblicati sul suo sito². Lo scopo è quello di offrire materiale didattico utile agli insegnanti che volessero proporre ai propri alunni un percorso didattico per comprendere le condizioni di vita su Marte attraverso semplici esperimenti.

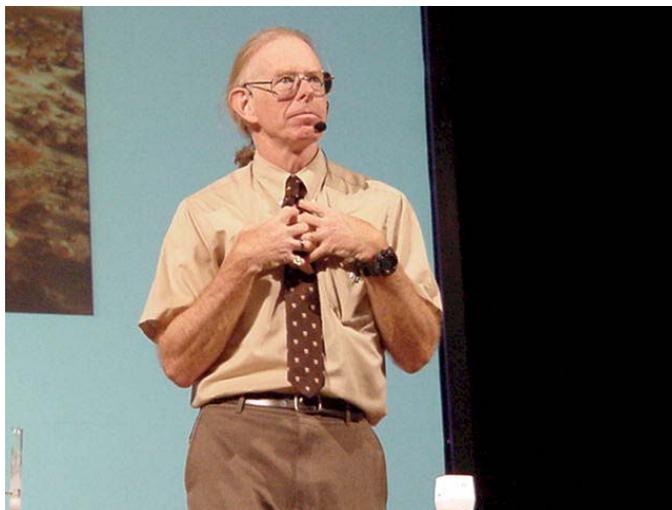


Fig.1 Paul Doherty sul palco del Teatro Morlacchi di Perugia (L.Alfonsi)

Suolo di polvere rossa, cielo salmone e tramonti azzurri

Il colore di Marte agli antichi uomini richiamava il colore del sangue ed è per questo che il suo nome è stato associato al *dio della guerra*.

La superficie di Marte, che in passato ha avuto fenomeni vulcanici e tettonici oltre che bombardamenti di meteoriti, è stata modellata prevalentemente da fenomeni eolici.

Il suolo è costituito prevalentemente da una polvere rossastra, del colore dello zucchero caramellato, costituita da limonite.

La limonite è una miscela di ossidi idrati di ferro come la goethite, $\text{FeO}(\text{OH})$, la rossa ematite Fe_2O_3 , uno dei principali componenti della ruggine sulla terra, ed inoltre in piccola quantità, 1%, la magnetite, Fe_3O_4 , minerale magnetico.

Su Marte come sulla Terra i minerali di ferro conservano il colore rosso nel corso del tempo, nonostante l'erosione degli agenti atmosferici.

¹ le foto realizzate da Paul Doherty sono state da lui gentilmente fornite

² <http://isaac.exploratorium.edu/~pauld/lectures/italy/marslectureshort.htm>

Attività:

Far passare un magnete attraverso della sabbia o la polvere di un marciapiede; è probabile osservare particelle nere di magnetite e/o particelle marrone chiaro di limonite che si attaccano al magnete.

Dalle immagini dei telescopi, confermate da quelle inviate dalle sonde spaziali, risulta evidente che il colore del cielo di Marte tende al rossastro. Le escursioni termiche sul pianeta sono molto forti e provocano la formazioni di forti correnti aeree, venti che soffiano anche a 150-200 km/h e che, nonostante l'aria rarefatta, riescono sollevare gigantesche tempeste di polvere.

Il pulviscolo sospeso nell'ara determina il fenomeno per cui solo metà della luce arriva sulla superficie di Marte direttamente dal Sole, l'altra metà proviene dalla diffusione della luce attraverso la polvere dispersa nel cielo.

Ecco perché il cielo di Marte appare rosso e tutti gli oggetti appaiono di colore rossastro. La stessa ombra di uno gnomone è rossastra, anche se di un colore un po' più scuro di quello della luce diretta.

Attività:

Mettere degli occhiali da sole con lenti giallo-brune e guardarsi intorno per avere una idea di che colore si vedrebbero gli oggetti su Marte.

Senza la polvere diffusa il cielo di Marte potrebbe essere nero come il cielo sulla Terra a 115.000 piedi di altezza (35 km circa), dove l'atmosfera terrestre ha una densità prossima a quella sulla superficie di Marte

La polvere rossa trasportata nel cielo di Marte dai venti si deposita piano e la più sottile resta sospesa nell'aria a lungo perché non viene mai spazzata via dalle piogge.

Le finissime particelle del pulviscolo sospeso sono più piccole di 0,5 micro, addirittura minori della lunghezza d'onda della luce blu. Alcune più grandi possono raggiungere una decina di micron, maggiori della lunghezza d'onda della luce rossa.

Le particelle del pulviscolo di Marte assorbono la luce blu e diffondono la luce di tutte le altre lunghezze d'onda. Ecco perché il cielo è colorato di rosso.

Il cielo di Marte assomiglia al cielo di Los Angeles, o delle grandi città come Milano, quando è colorato di rosso dallo smog, che assorbe la luce blu. I gas emessi dalle automobili e il pulviscolo dell'aria vengono convertiti in smog dalla luce ultravioletta del sole. Dopo un temporale a Los Angeles il cielo ripulito dallo smog ritorna blu come il cielo della terra, sia pure per poco.

Al contrario che sulla terra, dove il cielo è blu e l'alba e il tramonto sono rossi, su Marte, attraverso la sua atmosfera di polveri rosse, l'alba e il tramonto appaiono di un colore verde-blu o ciano; infatti la luce del Sole attraversa uno strato di polveri più grande, rispetto al resto del giorno, e quindi colora il cielo di blu su uno sfondo rossastro.

Attività

Per simulare il colore rossastro del cielo al tramonto sulla Terra, dovuto al maggiore spessore di atmosfera che la luce del sole attraversa, si può utilizzare uno di quei bastoncini di colla, non molto densi, che si usano per le pistole di colla a caldo, e una piccola torcia elettrica con un fascio di luce, o lampadina, di 1cm circa di diametro .

Se si fa passare la luce attraverso il bastoncino di colla, lateralmente, dove lo spessore è minore, si vede che la luce conserva il suo colore o tende al blu; se invece si fa passare la luce attraverso il



fig.2 P.Doherty al Teatro di Perugia (L.Alfonsi)

lato lungo del bastoncino, collocando la torcetta su una delle basi del cilindro di colla, si può vedere dall'altro lato che la luce tende al rossastro.

Suoni e odori

L'aria di Marte è molto rarefatta ed è anche molto secca, come la ritroviamo sulla Terra nelle Dry Valleys in Antartide o nel Deserto di Atacama, per cui non trasmette i suoni così bene come quella della Terra.

Ha una densità più di 100 volte minore di quella della Terra, di conseguenza anche i suoni vi saranno percepiti 100 volte più bassi; poiché l'orecchio è un rivelatore logaritmico, il decremento del livello di ascolto dei suoni dovrebbe risultare di 20 decibel più basso.

Attività:

Coprire le orecchie con le mani, i suoni percepiti risultano ovattati, come si sentirebbero su Marte.

L'aria di Marte è costituita per il 95% da diossido di carbonio o anidride carbonica CO_2 e le recenti esplorazioni hanno identificato composti solfurei nell'atmosfera, oltre a piccole quantità di altri gas.

Perciò, per avere un'idea di quale odore ha l'aria di Marte, si può immaginare l'odore di una bevanda gassata con un po' di tracce di uova marce.

Attività:

Mettere del ghiaccio secco in una vaschetta tipo quella dei pesci e poi soffiarsi sopra per far arrivare al nasol'odore di Marte. Oppure agitare una bibita gassata, svitare il tappo ed immediatamente avvicinare il naso per sentire l'odore della CO_2 . Si può anche provare ad assaggiarne il sapore avvicinando la lingua!!

Le rocce di Marte sulla Terra sono veramente molto rare, per cui solo pochi fortunati hanno potuto toccarle.

La temperatura su Marte può variare da $-130\text{ }^\circ\text{C}$ in inverno a $25\text{ }^\circ\text{C}$ in estate all'Equatore.

Sicuramente una buona regola di sopravvivenza su Marte è quella di non mettere mai la lingua su una canna di metallo!

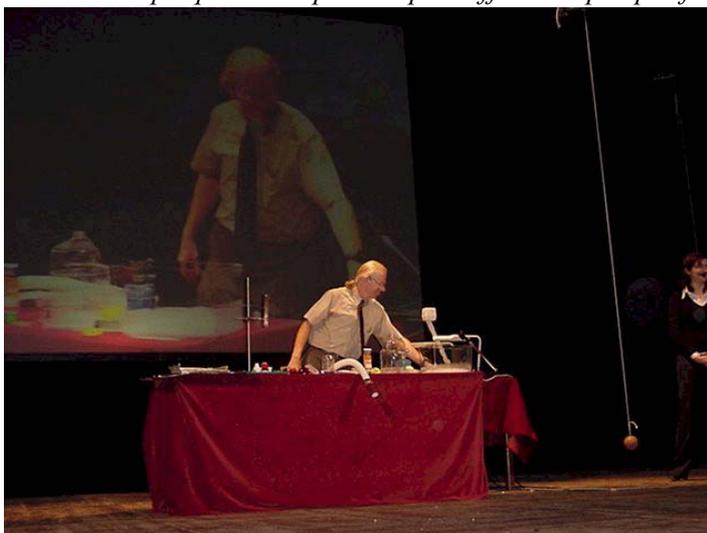


fig.3 P.Doherty col suo banco degli esperimenti al Teatro di Perugia (L.Alfonsi)

Assenza di Ossigeno nell'aria ma rocce che lo producono

L'aria di Marte è costituita oltre che dal 95% di anidride carbonica, CO_2 , anche da di azoto, N_2 per il 3% e da argo, Ar, e tracce di vapore acqueo e ossigeno, O_2 , per il 2%.

Respirare l'aria di Marte può provocare ad un uomo la morte in 15 secondi per mancanza di ossigeno. Il film *Atto di forza* con protagonista Arnold Schwarzeneger, l'attuale governatore della California, dà un'idea precisa di quello che potrebbe accadere ad un terrestre su Marte senza una adeguata tuta di protezione. D'altronde sulla Terra non si potrebbe sopravvivere senza bombole di ossigeno già a 10.000 m di altezza.

Quando dell'acqua viene versata sulla superficie di Marte libera ossigeno, perché reagisce con la grande quantità di superossidi di ferro presenti nel suolo, come è stato verificato dal veicolo spaziale Viking. Recentemente lo stesso tipo di suoli è stato trovato dallo scienziato Chris McKay della NASA AMES nel deserto Atacama in Cile.

Attività:

Mettere un filo di platino in una provetta con acqua ossigenata H_2O_2 (20%) ; l'acqua ossigenata si dissocia in acqua e ossigeno $H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2$.

Questo processo simula la produzione di ossigeno sul suolo di Marte quando vi si versa dell'acqua

Aria che spegne i fuochi

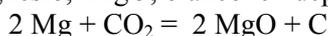
Ovviamente è difficile far bruciare molte cose su Marte per l'assenza di ossigeno e la presenza di CO_2 , usato sulla terra come estintore degli incendi.

Attività:

Qualche tempo prima dell'esperimento, preparare una vaschetta da pesci con del ghiaccio secco e lasciarlo evaporare. Immettere per prima cosa del ghiaccio secco in una caraffa che contiene acqua calda; si osserva lo sprigionarsi di una nube di gas. Far cadere questa nube di gas nella vaschetta preparata prima col ghiaccio secco, nel frattempo sublimato, e si osservi come la nube galleggia sulla CO_2 della vaschetta. Infatti l'anidride carbonica è più pesante dell'aria e quindi stagna nella vaschetta, mentre la nube di gas della caraffa vi rimane sopra.

A questo punto si prende una candela accesa e la si immerge nella vaschetta, essa si spegne per la mancanza dell'ossigeno che attiva la combustione.

Esistono in natura metalli che bruciano in assenza di ossigeno, come il magnesio. Infatti questo metallo può bruciare in presenza di CO_2 , perché la scompone utilizzando l' O_2 per formare ossido di magnesio, MgO , bianco e depositando il carbonio, nero, secondo la reazione chimica:



Attività:

Accendere con un fiammifero un nastro di magnesio e immergerlo mentre brucia nella vaschetta con la CO_2 ; si nota che continua a bruciare.

Il nastro di magnesio si combina con l'ossigeno della CO_2 e diventa ossido di magnesio, bianco, con dei puntini neri di carbonio.

Pressione dell'aria

La pressione dell'aria su Marte è in media di circa 6 millibar, mentre sulla Terra è di 1013 millibar. E' simile a quella che sulla Terra si trova a 20.000 m sul livello del mare, dove il sangue alla temperatura corporea entrerebbe in ebollizione, se non si indossasse una tuta pressurizzata di protezione. Su Marte il sangue per entrare in ebollizione ci metterebbe pochi secondi e un uomo, senza tuta di protezione, diventerebbe subito un salsicciotto gonfio, un perfetto "omino Michelen".

Un'asta di acciaio con la base quadrata di cm 2,5 di lato ed alta m 1,3, pesa kg 6,5; se la si tiene in verticale sulla mano simula la pressione dell'atmosfera terrestre su quella parte di superficie corporea. Noi non

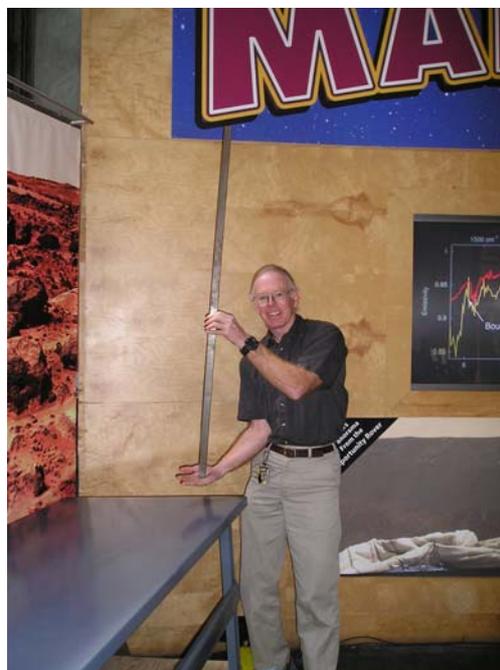


fig.4 P.Doherty simula la pressione della atmosfera terrestre sulla superficie d'appoggio della mano tenendo in verticale una asta di acciaio con la base quadrata di 2,5 cm di lato e alta m 1,3. (P.Doherty)

avvertiamo il peso dell'aria sul nostro corpo, perché esso è uniformemente distribuito su tutta la superficie.

Per avere un'idea della pressione che esercita l'atmosfera marziana, bisogna tagliare l'asta di acciaio di prima e prenderne solo 1/100 della sua altezza .

Attività:

Prendere una asta di acciaio con la base quadrata di cm 2,5 di lato e alta m 1,3 e tenerla in verticale sulla mano: essa esercita sulla superficie d'appoggio la stessa pressione della atmosfera terrestre (fig.4).

La pressione atmosferica su Marte invece corrisponde a 1/100 della stessa asta, cioè a quella di un pezzo di acciaio con una base quadrata di cm 2,5 di lato e una altezza di cm 1,3 (fig.5) .

Temperatura di ebollizione dell'acqua

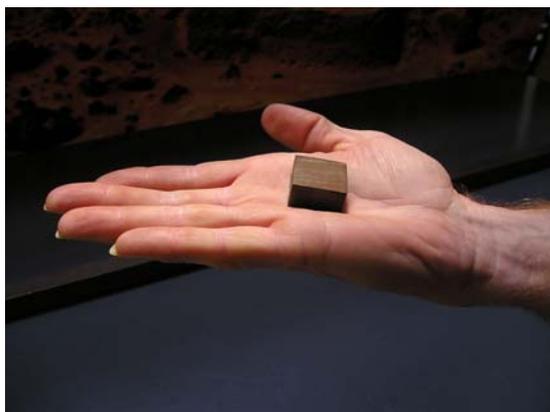


fig.5 La pressione esercitata dall'atmosfera di Marte sulla superficie d'appoggio della mano è quella di un pezzo di acciaio con una base di 2,5 cm² e una altezza di 1,3 cm (P.Doherty)

stantuffo: aumentando il volume a disposizione la pressione dell'aria diminuisce e si nota che l'acqua entra subito in ebollizione.

Se la pressione atmosferica su Marte è 1/100 di quella terrestre, l'acqua vi dovrebbe bollire a 0 °C. Pertanto sarebbe molto difficile cucinare su Marte; indispensabile sarebbe una pentola a pressione per raggiungere le temperature di cottura dei cibi. Già sulla Terra, in alta montagna dove la pressione dell'aria è minore che al livello del mare, ci vuole molto più tempo per far diventare sodo un uovo.

Attività:

Per avere una idea della bassa temperatura a cui può bollire l'acqua in assenza di atmosfera si può utilizzare una siringa con stantuffo (senza ago) piena a metà di acqua. Si ottura con un dito il foro dove andrebbe l'ago e si aspira con forza lo

Raggi ultravioletti

In assenza di una atmosfera come quella terrestre i raggi UV su Marte possono essere 100 volte più intensi che sulla Terra: sarebbe come stare in un secchissimo deserto equatoriale senza la protezione dello strato di ozono. Ci si prenderebbe una bella scottatura in 15 secondi di esposizione al Sole.

I rocciatori su Marte avrebbero bisogno di un fattore di protezione solare di molto superiore a quello che usano sulla Terra per rimpiazzare la mancanza di protezione dello strato di ozono. Marte infatti non ha una schermatura per i raggi UV e anche se è 1,5 volte più lontano dal Sole, rispetto alla Terra, la dose di UV è ridotta solo dell'inverso del quadrato della sua distanza, quindi di circa la metà.

Lo strato di ozono ha un fattore di protezione 256, per cui combinando la minor quantità di raggi UV e l'assenza di ozono, su Marte c'è bisogno di creme con fattore di protezione 100 volte superiore a quelle usate sulla Terra.

Se sulla Terra, in un posto di alto deserto vicino all'Equatore, si ha bisogno, oltre alla protezione dell'ozono, di una crema di protezione 50, su Marte nelle stesse condizioni si avrebbe bisogno di una crema con fattore protettivo 5000.

Stelle per orientarsi

Su Marte non c'è campo magnetico, pertanto nessuna bussola potrebbe funzionare. La stella che indica il Polo Sud celeste su Marte è κ Velorum di magnitudine 2.46, che si trova a circa 2 gradi dal

Polo Sud.

La nostra Stella Polare, che indica il Polo Nord terrestre è più luminosa e più vicina al Polo Nord Celeste, dista infatti meno di 1 grado.

Ma come sulla Terra non c'è una stella che indica il Polo Sud Celeste, così su Marte non ce ne è una che indichi il Polo Nord Celeste.

Gravità

La gravità su Marte è circa 1/3 di quella sulla Terra, più precisamente 0,37 volte. Per cui se sulla Terra un uomo pesa 70 chili, su Marte ne pesa circa 26.

Con le opportune tute ci si potrebbe adattare subito alla nuova situazione, come gli astronauti sulla Luna, ma sicuramente come loro si farebbero dei gran capitomboli per provare a camminare sul suolo di Marte.

Attività:

Per provare il proprio peso corporeo su Marte, ci si può appendere ad una corda, magari con una imbracatura da alpinista, e si può provare a camminare su una tavola messa quasi in verticale. Si riesce a camminare più saltando come canguri che come normalmente sulla Terra (fig.6).



fig.6 P.Doherty appeso ad una corda prova a camminare su una tavola verticale simulando una passeggiata su Marte col peso corporeo ridotto a un terzo (P.Doherty)

Giocare con la gravità e una palla

La gravità su Marte è 1/3 di quella sulla Terra. Cioè una persona o una palla cadono da una certa altezza con 1/3 dell'accelerazione che avrebbero sulla Terra, indicata con 1/3 g.

Sapendo che la distanza è $d = \frac{1}{2} at^2$ dove a = accelerazione e t = tempo

si ha che $t_T = \sqrt{\frac{2d}{g}}$ e su Marte $t_M = \sqrt{\frac{2d}{g}} \cdot \sqrt{3} = t_T \cdot \sqrt{3} = 1,7 t_T$

Per cui per cadere da una data altezza è necessario un tempo su Marte 1,7 volte maggiore che sulla Terra.

Quindi se è possibile per un uomo abile cadere da una altezza di 5 metri sulla Terra, senza procurarsi danno, su Marte grazie alla riduzione di 1/3 della gravità è possibile cadere da una altezza 3 volte maggiore.

L'aria su Marte è 100 volte più sottile di quella della Terra, meno densa. Cioè, qualsiasi cosa voli nell'aria di Marte, ha una spinta 100 volte minore che sulla Terra e anche la resistenza opposta dall'aria è 100 volte minore. Se l'accelerazione di gravità su Marte è 1/3 di quella sulla Terra, un palla lanciata starà nell'aria 3 volte di più, andrà 3 volte più in alto e 3 volte più lontano.

Sarebbe quindi necessario avere su Marte un campo di calcio 3 volte più lungo e 3 volte più largo di quelli che ci sono sulla Terra. E i difensori dovrebbero allenarsi tre volte di più per coprire un'area 9 volte più grande: dovrebbero poter saltare come i canguri per riuscire a coprire le distanze maggiori.

I giocatori di baseball, poi, non riuscirebbero a tirare su Marte "palle curve", infatti la palla lanciata non riuscirebbe a curvare per effetto della spinta dell'aria che le gira intorno, come avviene sulla Terra per l'Effetto Magnus.

Su Marte defletterà infatti 100 volte meno, essendo l'aria 100 volte meno densa che sulla Terra.

Attività

Per provare la gravità su Marte, costruire una macchina di Atwood con due carrucole fissate ad una asta e appendervi due palline da tennis, di cui una metà dell'altra. Se si solleva in alto la palla intera e la si lascia cadere, la si vedrà cadere con 1/3 della sua forza di gravità (fig.7).

..o gli aeroplanini di carta

Aeroplani di carta non possono volare molto bene su Marte, perché si alzerebbero 100 volte meno nell'aria e con 1/3 del peso.

Attività

Costruire un aeroplano di carta con 30 fogli di carta A4 piegati a guisa di quello costruito con un foglio solo.

Provare a farlo volare per rendersi conto di come volerebbe su Marte un aeroplanino "terrestre" di un foglio solo. Si vede che la spinta è bassa e l'aereo "atterra" molto presto.

Montagne, nuvole e ghiaccio

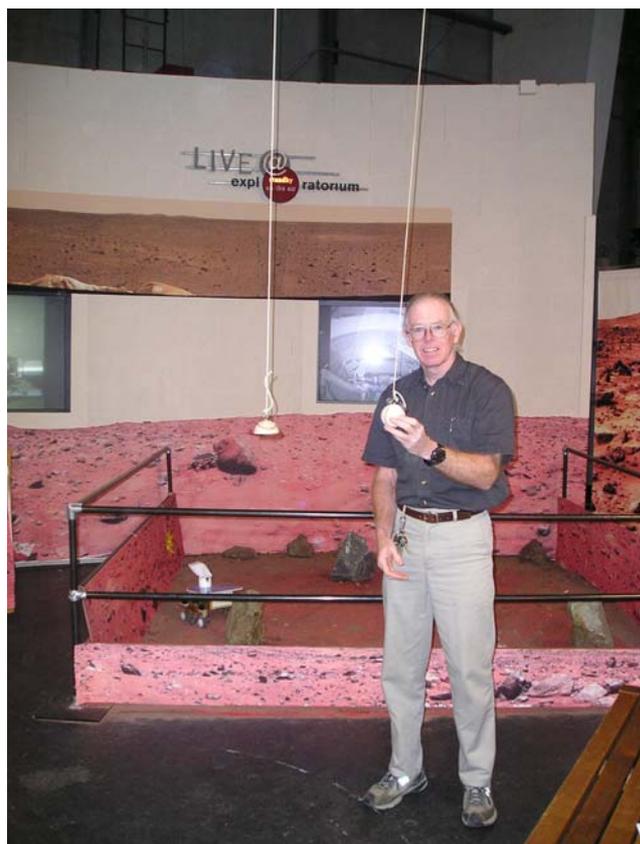


fig.7 P.Doherty prova con la macchina di Atwood la gravità su Marte (P.Doherty).

Su Marte c'è la più alta montagna del sistema solare, il Monte Olimpo: è alto 25 km e si innalza per 18 km sopra l'altopiano che lo circonda, largo 600 km alla base. E' quasi tre volte più alto del Monte Everest, il più alto della Terra con i suoi circa 8,8 km sopra il livello del mare.

Il Monte Olimpo è costituito di fluida lava non compatta come la cenere di uno stratovulcano. Una scalata sul Monte Olimpo è come una passeggiata su un vulcano a scudo delle Hawaii. E' facile per un appassionato di montagna percorrere un dislivello di 50 m per km, una pendenza cioè del 5%. Se poi si considera che il peso è ridotto di 1/3 può essere facile salirci anche in bicicletta.

Sono state individuate nuvole su Marte e la regione dove esse sono presenti, osservabile dalla Terra, è stata soprannominata "Nix Olimpica", la neve dell'Olimpo. Quando le navicelle spaziali hanno rivelato che essa si trovava al di sopra di un vulcano gigante, esso fu chiamato appunto Monte Olimpo. Si è notato anche che le nuvole hanno come delle onde sopra l'orlo del cratere.

Sono state osservate inoltre dai veicoli spaziali delle nuvole all'alba, quasi certamente costituite da cristalli di ghiaccio. Ma mentre sulla Terra le nuvole sono costituite da gocce e cristalli di ghiaccio di acqua, su Marte le nuvole sono costituite da ghiaccio di acqua e ghiaccio secco, cioè ghiaccio di anidride carbonica, CO₂.

Le nuvole possono essere osservate nelle immagini trasmesse da Marte dai veicoli spaziali sopra la sua polverosa atmosfera, al bordo del pianeta.

E' risaputo da tempo che sulla superficie di Marte c'è ghiaccio. Le calotte polari sono costituite sia da acqua che da anidride carbonica ghiacciati, ma c'è quasi certamente del ghiaccio anche nel sottosuolo.

Le immagini di Marte mostrano il basamento dei crateri circondati da presumibili correnti di fango. Si suppone che i crateri si siano formati dall'impatto di meteoriti su regioni che contenevano un sottosuolo di ghiaccio. Le fratture a forme poligonali sulla superficie di Marte sono come quelle che sulla Terra si trovano nelle regioni con il permafrost.

Il veicolo spaziale Mars Express che è arrivato in orbita attorno a Marte nel 2003 è munito di radar adatti a cercare ghiaccio nel sottosuolo.

Si è trovato ghiaccio su Marte anche fuori dalle calotte polari. Il veicolo spaziale Viking 2 una mattina si è "svegliato" circondato da un bianco paesaggio, infatti nella notte la temperatura era scesa a $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$, la temperatura a cui cristallizza l'anidride carbonica, e il ghiaccio formatosi non si era sciolto alle temperature superiori. Da ciò gli scienziati hanno dedotto che nel ghiaccio era contenuta anche acqua.

Forma dei cristalli di ghiaccio secco riprodotti in laboratorio

I cristalli di ghiaccio sulla terra crescono come i raggi di una ragnatela, ma hanno le forme più diverse³. Gli scienziati hanno scoperto che la forma dei cristalli di ghiaccio dipende dalla temperatura e dalla sovrasaturazione dell'aria in cui essi si formano.

A prescindere dalle basse temperature a cui cristallizza il ghiaccio secco, la bassa densità di vapore trovato su Marte ha fatto ipotizzare a Paul Doherty che i cristalli di ghiaccio di Marte devono avere una forma piatta prismatica esagonale.

Per cui, lo scienziato in collaborazione con Clarence Bennet ha ricostruito in laboratorio, presso l'Università Oacland in Rochester Michigan, una camera per osservare la formazione di cristalli di ghiaccio secco alle condizioni di temperatura, pressione e atmosfera marziane.

Attraverso una pompa per generare il vuoto gli scienziati hanno portato la pressione della CO_2 pura a quella marziana di 6 millibar e aggiunto azoto liquido per raggiungere le temperature marziane. Alla pressione dell'atmosfera di Marte, i cristalli di ghiaccio secco si formano a 140 K che corrisponde a circa $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dopo mesi di lavoro sono riusciti a produrre una tempesta di neve nella camera e sono riusciti a fotografare i cristalli di neve formati.

Si è appurato così che il ghiaccio di CO_2 cristallizza con una simmetria cubica, per cui può assumere forme cubiche, ottaedriche o cubottaedriche, come cubi con gli angoli tagliati.

I due scienziati sono arrivati alla conclusione che la forma dei cristalli di ghiaccio secco su Marte è quella dei cubottaedri (fig.8)

Attività

Per mostrare la forma di un cubottaedro prendere un cubo di plastica e tagliare gli spigoli in modo da avere sempre facce regolari quadrate e triangolari.

Procurarsi inoltre dei cristalli



fig.8 P.Doherty illustra la forma dei cristalli di ghiaccio su Marte al Teatro di Perugia (L.Alfonsi)

³ molte immagini di cristalli di ghiaccio sono sul web del National Oceanic and Atmospheric Administration <http://www.noaa.gov/index.html>

di pirite a simmetria cubica e verificare se vi sono presenti dei cristalli a forma cubottaedrica.

Alone intorno al Sole

Per avere una idea degli angoli in cielo, tendere un braccio e osservare a palmo aperto la distanza tra indice e pollice: essa sottende un angolo di circa 22-23 gradi, che corrisponde all'angolo del raggio dell'alone che a volte si vede dalla Terra intorno al Sole o alla Luna (fig.9).

L'alone è determinato dai cristalli di ghiaccio presenti nell'atmosfera. Anche da Marte si dovrebbe vedere un alone di questo tipo intorno al Sole.

Paul Doherty ha calcolato da Marte si dovrebbe vedere intorno al Sole un alone di 28 gradi, essendo i cristalli di ghiaccio secco.

Finora le immagini dei veicoli spaziali Viking e Pathfinder non hanno rivelato nessun alone. Chissà se gli studi che si stanno facendo sulle immagini provenienti da Spirit risolveranno l'enigma e chiariranno se si vede da Marte un alone intorno al Sole e se il suo raggio è di 22,5°, come quello che si vede dalla Terra, o di 28°, come sostiene P.Doherty.

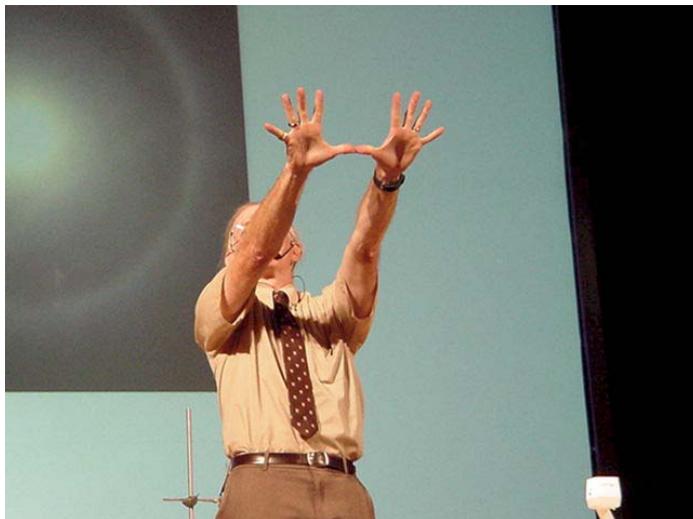


fig.9 P.Doherty a Perugia mostra con le mani quanto dovrebbe essere grande l'alone intorno al Sole, nel pannello dietro, visto da Marte. (L.Alfonsi)

APPENDICE**1A VALORI DELL'EQUAZIONE DEL TEMPO E DELLA DECLINAZIONE DEL SOLE¹**

Gennaio			Maggio			Settembre		
<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>
1	-3 m 18s	-23° 04'	4	+3m 14s	+15° 59'	1	+0m 7s	+08° 15'
5	-5 m 8s	-22° 42'	8	+3m 31s	+17° 06'	5	+1m 26s	+06° 46'
9	-6 m 52s	-22° 13'	12	+3m 39s	+18° 09'	9	+2m 48s	+05° 17'
13	-8 m 28s	-21° 37'	16	+3m37s	+19°07'	13	+4m 12s	+03° 45'
17	-9 m 53s	-20° 55'	20	+3m 27s	+19° 59'	17	+5m 37s	+02° 13'
21	-11m 7s	-20° 06'	24	+3m 8s	+20° 47'	21	+7m 2s	+00° 40'
25	-12m 10s	-19° 11'	28	+2m 41s	+21° 28'	25	+8m 26s	-00° 53'
29	-12m 59s	-18° 10'				29	+9m 47s	-02° 26'
Febbraio			Giugno			Ottobre		
<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>
2	-13m 36s	-17° 04'	1	+2m 7s	+22° 03'	3	+11m 3s	-03° 59'
6	-14m 0s	-15° 53'	5	+1m 26s	+22° 33'	7	+12m 14s	-05° 31'
10	-14m 11s	-14° 38'	9	+0m 41s	+22° 56'	11	+13m 19s	-07° 03'
14	-14m 9s	-13° 19'	13	-0m 7s	+23° 12'	15	+14m 15s	-08° 32'
18	-13m 56s	-11° 57'	17	-12m 59s	+23° 22'	19	+15m 2s	-10° 00'
22	-13m 32s	-10° 31'	21	-1m 50s	+23° 26'	23	+15m 40s	-11° 25'
26	-12m 57s	-09° 03'	25	-2m 41s	+23° 23'	27	+16m 6s	-12° 48'
			29	-3m 31s	+23° 13'	31	+16m 20s	-14° 07'
Marzo			Luglio			Novembre		
<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>
1	-12m 14s	-07° 33'	3	-4m 5s	+22°57'	4	+16m 21s	-15° 23'
5	-11m 23s	-06° 01'	7	-4m 57s	+22° 34'	8	+16m 10s	-16° 35'
9	-10m 25s	-04° 27'	11	-5m 31s	+22° 05'	12	+15m 44s	-17° 42'
13	-9m 21s	-02° 53'	15	-5m 59s	+21° 30'	16	+15m 6s	-18° 45'
17	-8m 14s	-01° 18'	19	-6m 18s	+20° 49'	20	+14m 14s	-19° 42'
21	-7m 3s	+00°15'	23	-6m 28s	+20° 03'	24	+13m 9s	-20° 33'
25	-5m 51s	+01° 50'	27	-6m 29s	+19° 11'	28	+11m 52s	-21° 19'
29	-4m 39s	+03° 24'	31	-6m 20s	+18° 14'			
Aprile			Agosto			Dicembre		
<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>	<i>data</i>	<i>Equazione tempo</i>	<i>declinazione</i>
2	-3m 27s	+04° 57'	4	-6m 2s	+17° 13'	2	+10m 24s	-21° 57'
6	-2m 18s	+06° 28'	8	-5m 34s	+16° 07'	6	+8m 46s	-22° 30'
10	-1m 13s	+07° 58'	12	-4m 56s	+14° 56'	10	+7m 0s	-22° 55'
14	-0m 11s	+09° 26'	16	-4m 10s	+13° 42'	14	+5m 8s	-23° 12'
18	+m 43s	+10° 51'	20	-3m 16s	+12° 25'	18	+3m 11s	-23° 23'
22	+1m 33s	+12° 13'	24	-2m 14s	+11° 04'	22	+1m 12s	-23° 26'
26	+2m 15s	+13° 32'	28	-1m 6s	+09° 40'	26	-0m 45s	-23° 21'
30	+2m 49s	+14° 47'				30	-2m 42s	-23° 09'

Questi valori sono indicativi. Per maggiore precisione consultare un almanacco aggiornato. L'Equazione del tempo è uguale a 0 quattro volte, cioè nei giorni vicini a: 15/16 aprile, 13/14 giugno, 1/2 settembre e 25/26 dicembre.

¹ vedi Schede didattiche 2SD e 3SD

RETE DI ERATOSTENE E SCUOLE COLLEGATE, MATERIALI DI APPROFONDIMENTO

Rete di Eratostene, attività di astronomia delle scuole www.vialattea.net
 Elenco delle scuole iscritte alla rete <http://www.vialattea.net/eratostene/scuole/index.html>
 Elenco dei referenti della Rete <http://www.vialattea.net/eratostene/scuole/elenco-referenti.html>
 Modulo di iscrizione alla rete di Eratostene <http://www.vialattea.net/eratostene/php/index.html>
 Spazio chat della Rete <http://www.vialattea.net/chat>
 Misurazioni, relazioni e risultati: <http://www.vialattea.net/eratostene/ris/index.html>
 Le domande di astronomia più frequenti www.vialattea.net/eratostene/cosmimetria/intro.html
 Esempio di misurazione del meridiano a vari livelli di complessità:
<http://www.vialattea.net/eratostene/cosmimetria/esempio.html>
 Applet per il calcolo dell'altezza del Sole dall'ombra di uno stilo verticale
<http://www.vialattea.net/eratostene/altezza/arctan.html>
 Analemma <http://www.vialattea.net/eratostene/cosmimetria/app/analemma.htm>
 Un glossario di base <http://www.vialattea.net/eratostene/gloss/>
 Segnale orario: http://www.ien.it/stittime_i.shtml
 Almanacco astronomico mensile dell'I.T.N. Artiglio di Viareggio <http://www.nauticoartiglio.lu.it/>
 Censimento degli orologi solari costruiti nelle scuole http://www.nauticoartiglio.lu.it/Pgs/PGS_home.htm#Indice
 Dirette delle scuole su Marte "Gli studenti fanno vedere Marte"
<http://www.corriere.it/Rubriche/Astronomia/scuole/index.shtml>
 Percorsi didattici di astronomia <http://astrodidattica.vialattea.net/>
 Informazioni sulle misure di tempo <http://toi.iriti.cnr.it/it/toi.html>

INIZIATIVE DI ASTRONOMIA IN RETE

La rete francese *Sur le pas d'Eratosthène* <http://www.inrp.fr/lamappp/eratos/2004/>
 Parallasse- Liceo Foscarini <http://www.liceofoscarini.it/didattic/astromonia/stelle/parallasse.html>
 Il sito di P. Doherty -Exploratorium di S.Francisco
<http://isaac.exploratorium.edu/~pauld/lectures/italy/marslectureshort.htm>
 Materiali per le Olimpiadi di Astronomia-Osservatorio A. di Trieste <http://www.ts.astro.it/olimpiadi/index.html>
 Le stelle vanno a scuola, rete telematica per la divulgazione dell'Astronomia dell'Osservatorio Astronomico di Trieste
<http://www.ts.astro.it/techno/progetti/scuoleRemote/italiano/indexita.htm>
 Heavens Above (Coordinate geografiche mondiali): <http://www.heavens-above.com/countries.asp>
 Mediateca della Rai per le scuole sull'astronomia e non solo <http://www.mosaico.rai.it/index.asp>
 Prendi le stelle nella rete. Progetto per le scuole dell'Osservatorio A. di Padova
<http://www.pd.astro.it/othersites/stelle/stelle.html>
 Scienza per Tutti, il sito gestito dall'INFN per la divulgazione della fisica <http://scienzaper tutti.lnf.infn.it>

AGENZIE SPAZIALI ED ISTITUZIONI

NASA, Agenzia Spaziale Americana <http://www.nasa.gov>
 ESA, Agenzia Spaziale Europea www.esa.it
 ESO, European Southern Observatory, Consorzio di osservatori astronomici Europei dell'emisfero Sud www.eso.org
 ASI, Agenzia Spaziale Italiana www.asi.it
 Esplorazione di Marte, dati delle ultima scoperte <http://marsweb.jpl.nasa.gov/>
 INAF, Istituto Nazionale Italiano di AstroFisica www.inaf.it
 Osservatori astronomici italiani dell'INAF <http://www.pd.astro.it/MOSTRA/G0000OTH.HTM>
 JPL, sito del Jet Propulsion Laboratory della NASA www.jpl.nasa.gov
 Kennedy Space Center, sito della base di lancio della NASA www.ksc.nasa.gov
 Astronautix, enciclopedia on line di astronautica www.astronautix.com
 Heavens Above, sito per l'osservazione da Terra della Stazione Spaziale e di vari satelliti www.heavens-above.com
 Telescopio nazionale italiano "G.Galilei" <http://www.tng.iac.es/>

ASSOCIAZIONI PROFESSIONALI E AMATORIALI

SAIt, Società degli Astronomi Italiani www.sait.it
 ANISN, Associazione degli insegnanti di Scienze naturali www.anisn.it
 AIF, Associazione degli Insegnanti di Fisica <http://www.a-i-f.it/>
 EAAE, Associazione europea per l'educazione astronomica www.pdastro.it/eaee
 UAI, Associazione degli Astrofili Italiani www.uai.it
 IDA, International Dark Sky, sezione italiana, <http://web.tiscali.it/aoccsite/ITALIANO/INQUINAMENTO/inqu.html>
 CGI, Coordinamento Gnomonico Italiano <http://www.gnomonicaitaliana.it/>
 Cielo Buio, Associazione contro l'inquinamento luminoso <http://www.vialattea.net/cielobuio/>
 Amici dei planetari http://www.colibrionline.it/MG/settimana_astronomia.htm

RIVISTE DI ASTRONOMIA

Coelum <http://www.coelum.com/>

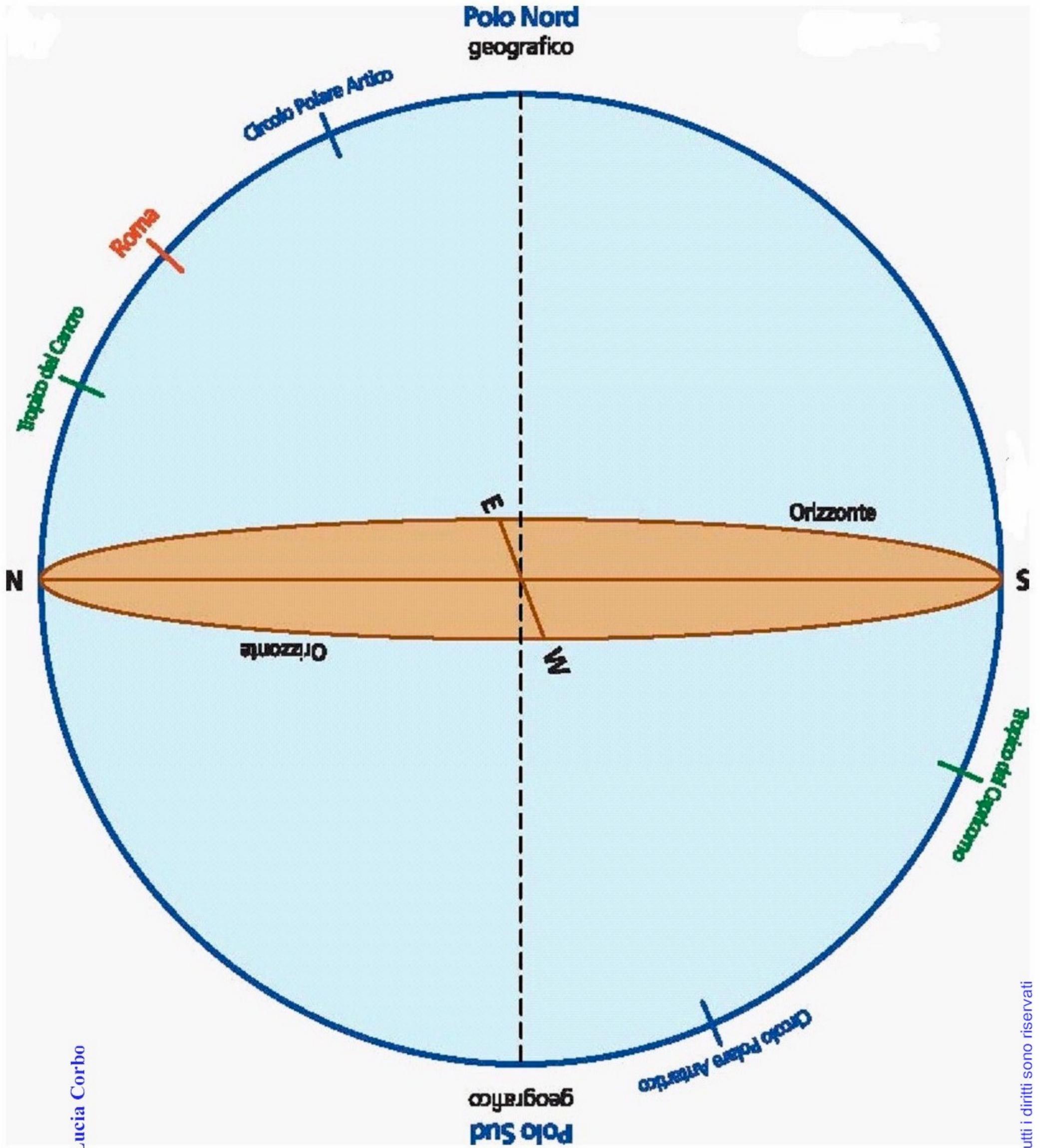
Nuovo Orione <http://www.orione.it/>

Lo spettacolo del cielo, il sito del Corriere della Sera Scienze <http://www.corriere.it/astronomia.shtml>

Le Stelle <http://www.lestelle-astrologia.it/home.html>

Le Scienze <http://www.lescienze.it/index.html>

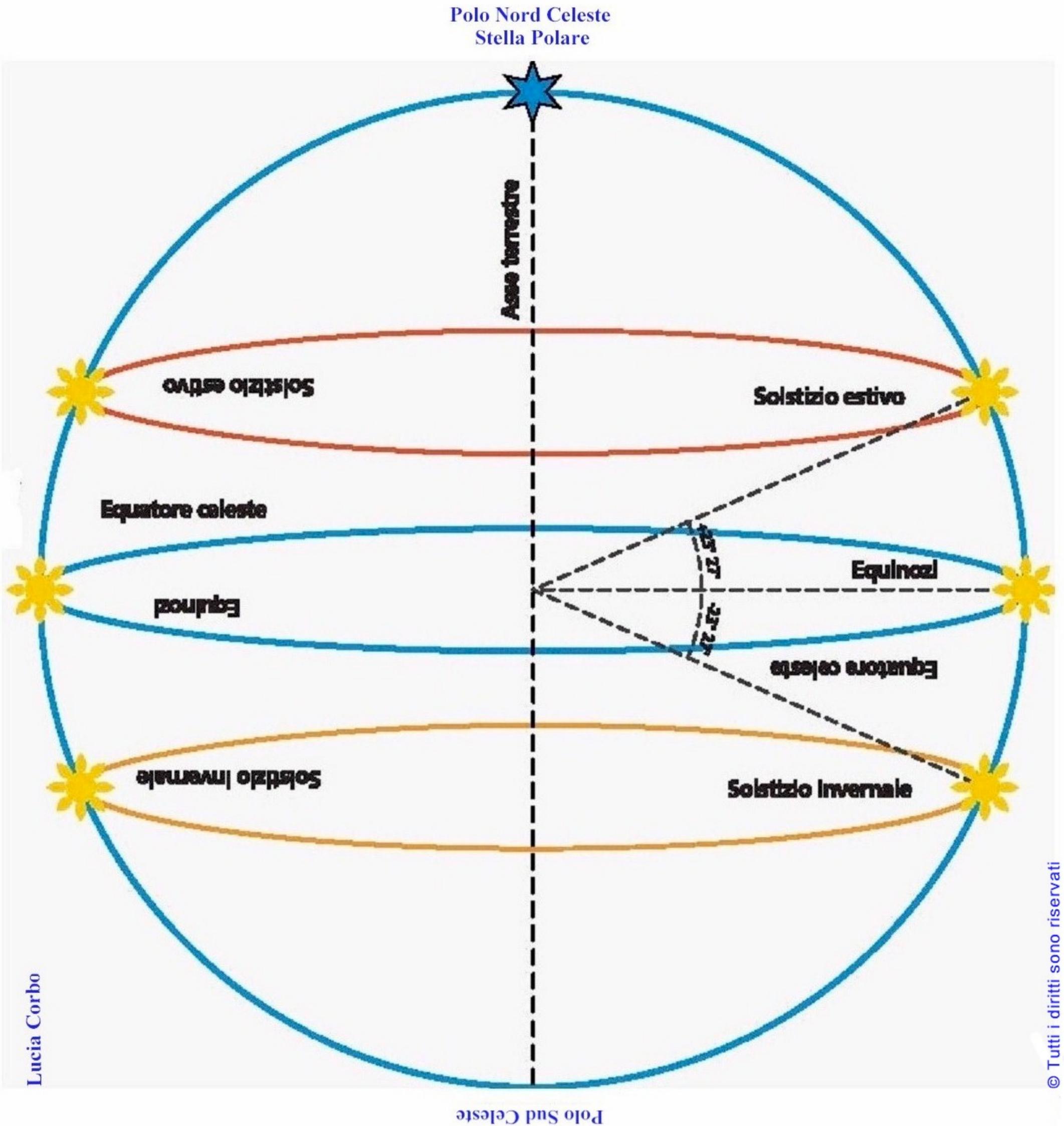
3A MODELLINO DIDATTICO IL SOLE DI TOLOMEO SUL MONDO COPERNICANO



Lucia Corbo

base

3A MODELLINO DIDATTICO IL SOLE DI TOLOMEO SUL MONDO COPERNICANO



pag. 14 fig.1 3° rigo
V capoverso 5° rigo

-giornata **invernale**
-massima concavità verso **Sud** verso **Nord**

pag. 15 V capoverso 4° rigo

-a partire da **mezzogiorno solare.**

N.B. Si tenga presente che la formula calcola il valore dell'azimut a partire da Sud; per riportarlo a quello definito a partire da Nord, vanno apportate le opportune integrazioni a seconda che il quadrante in cui si trova il Sole è quello orientale o quello occidentale.

pag. 45 intestazione della tabella 1

Classi	Postazione	h altezza dello gnomone (cm)	b lunghezza dell'ombra (cm)	α altezza del Sole (gradi)
--------	------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------

pag. 86 Pressione dell'aria .
III capoverso 1° rigo / fig.4

-asta di acciaio con la base **quadrata di 2,5 cm di lato**

pag. 87 fig.5

-pezzo di acciaio.....**idem**

pag. 92 terzultimo rigo

-tabella sono **indicativi e uguali** all'incirca **ogni** quattro anni