

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 .

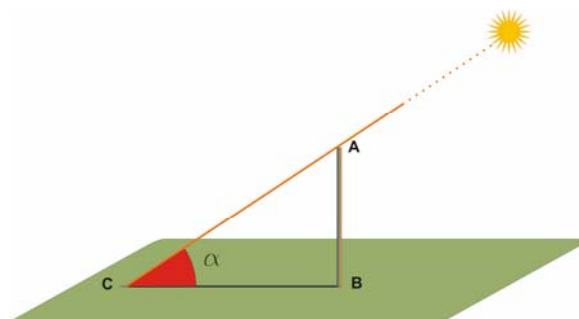


fig.1 L'angolo α è l'altezza del Sole (N.Scarpel)

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

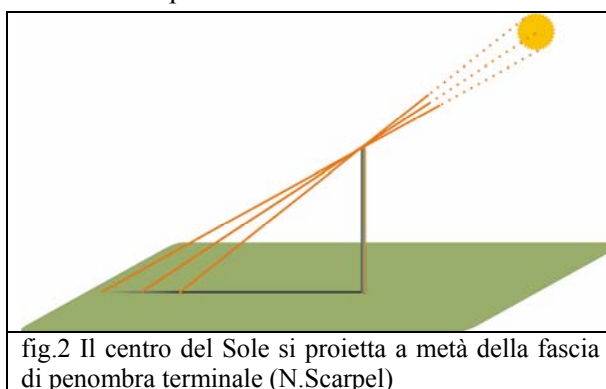


fig.2 Il centro del Sole si proietta a metà della fascia di penombra terminale (N.Scarpel)

¹ Vedi Prerequisiti 3P

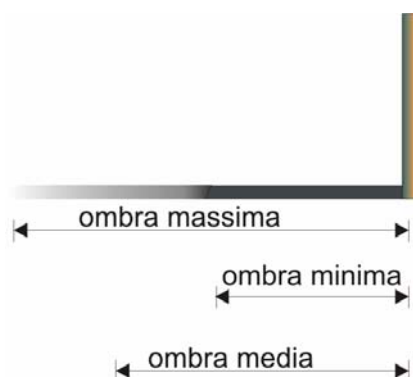


fig.3 La doppia misurazione (N.Scarpel)

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).

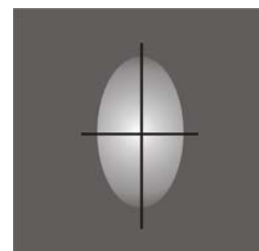


fig.4 I due assi dell'occhio di luce di un foro gnomonico si incrociano nel centro (N.Scarpel)

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.

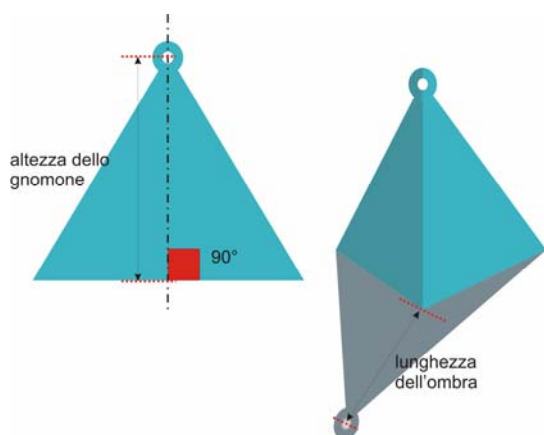


Fig.7 Il triangolino di cartone disegnato e il triangolo piegato lungo l'asse perpendicolare alla base. La piegatura funziona da gnomone verticale la cui altezza si misura dalla base al centro del foro (N.Scarpel)

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

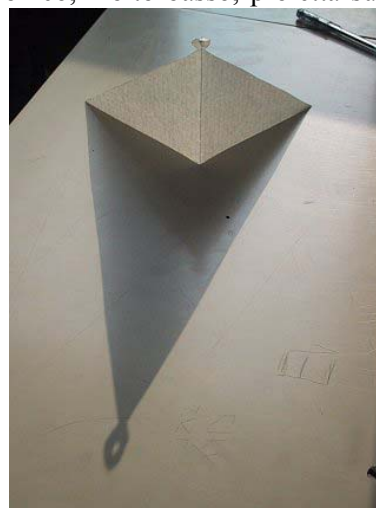


fig.8 Lo gnomone di cartoncino in opera (N.Scarpel)

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.

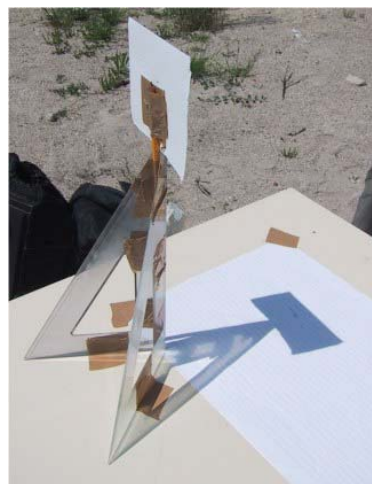


fig.9 Lo strumento con due squadrette (N.Scarpel)

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.

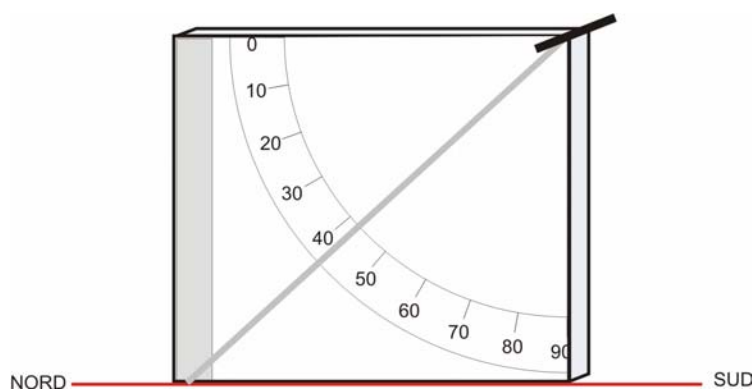


fig. 11 Schema di un plinto con la scatola di CD (N.Scarpel)

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.

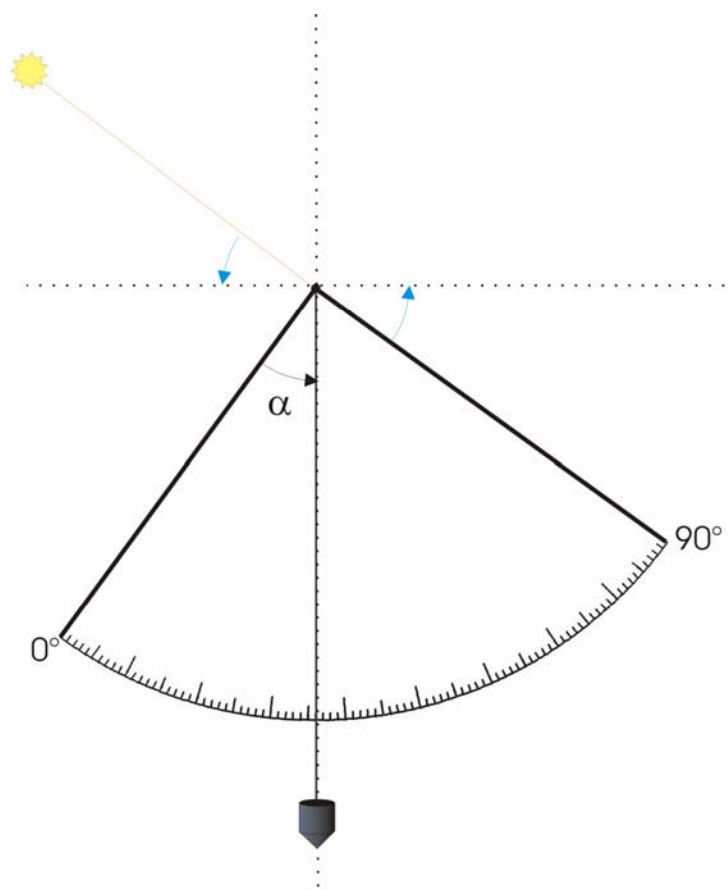


fig.12 Il quadrante mobile (N.Scarpel)

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.