

Il Sole

Il moto diurno

Lo gnomone

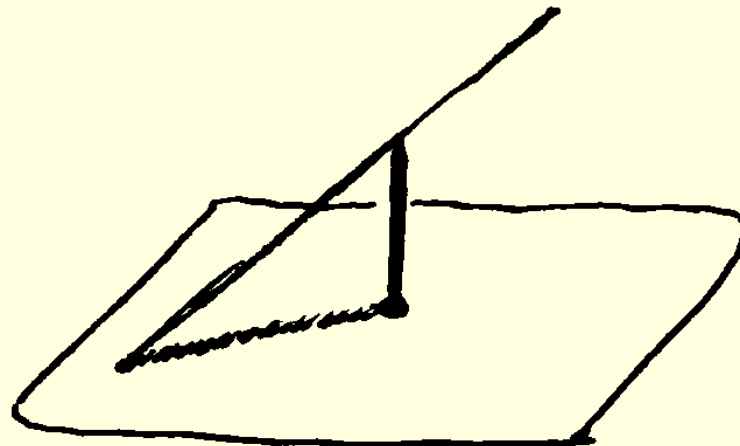
Lo strumento base per le misure sul Sole è lo *gnomone*.

Ne esistono innumerevoli varianti, semplici o più sofisticate.

Qui proponiamo la versione più semplice, con *chiodo e tavoletta*, che ogni ragazzo può costruire da sé.

La tavoletta dovrà essere di compensato spesso (8÷10 mm) più o meno quadrata, di lato almeno doppio della lunghezza del chiodo.

Il chiodo è bene che sia più lungo possibile (per es. 10 cm) per rendere più precisa la misura della lunghezza dell'ombra.



Occorre misurare in primo luogo la lunghezza del chiodo (v. dopo).

Si dispone la tavoletta su un piano (è bene che sia sempre lo stesso piano: ci torneremo) e si misura la lunghezza dell'ombra a diverse ore del giorno, possibilmente mattina e pomeriggio.

Per facilitare i confronti, si raccomanda che le misure vengano fatte a ore intere.

Ogni ragazzo prepara una tabella come la seguente:

Data:

Lunghezza del chiodo:

ora	lungh. ombra	lungh. rip. a 10 cm	alt. del Sole
-----	--------------	---------------------	---------------

.
-------	-------	-------	-------

.
-------	-------	-------	-------

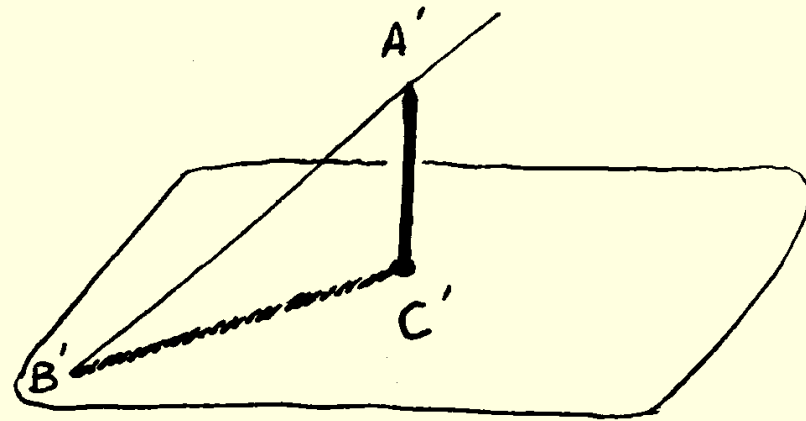
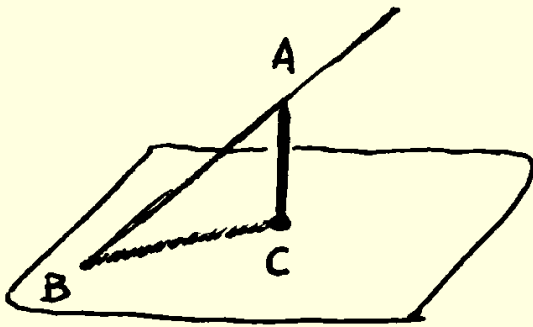
Inizialmente saranno riempite solo le prime due colonne.

La necessità di riportare a un “chiodo standard” deriva dal fatto che le lunghezze dei chiodi saranno diverse per ciascuno gnomone, rendendo impossibile un confronto immediato delle ombre.

Sulla similitudine

Consideriamo diversi gnomoni a uno stesso istante: le ombre prodotte saranno proporzionali alle lunghezze dei rispettivi chiodi:

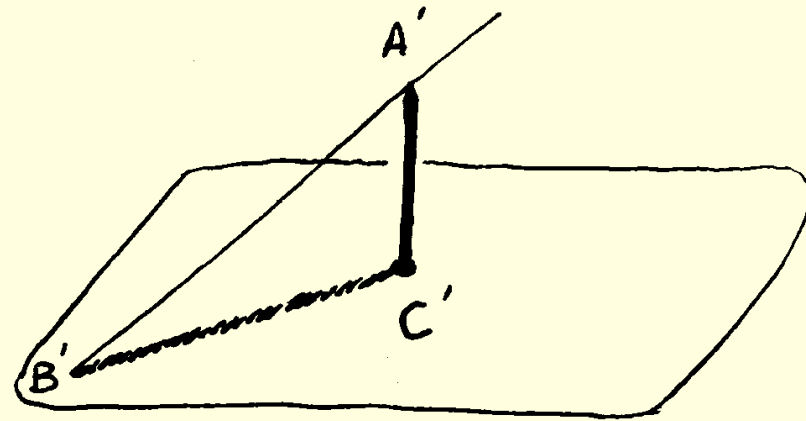
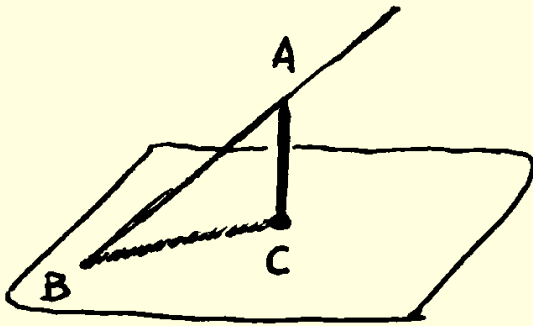
$$BC : B'C' = AC : A'C'$$



Ma perché c'è questa proporzionalità?

Occorre compiere due passaggi:

- 1) i raggi solari *sono paralleli* tra loro
- 2) di conseguenza i due triangoli ABC e $A'B'C'$ sono *simili*.



I raggi solari sono paralleli

Stiamo iniziando a costruire le basi dell'*ottica geometrica*, ma non dobbiamo farlo per via *deduttiva*!

Qui basterà dare per buoni i seguenti fatti:

- la luce si propaga *in linea retta*, lungo *raggi* dalla sorgente all'oggetto illuminato
- la sorgente (il Sole) può essere trattato come un punto
- il Sole è molto lontano.

Due parallele (per definizione) non s'incontrano mai; due rette che s'incontrano molto lontano sono *praticamente* parallele.

Se qualche ragazzo non è convinto che si possa trattare il Sole come puntiforme, gli diremo che non ha torto, ma vedremo poi che effetto ne segue. Per ora l'approssimazione è lecita.

I due triangoli ABC e A'B'C' sono simili

Richiamo sulla similitudine dei triangoli.

Due triangoli si dicono *simili* se

- a) i *lati* corrispondenti sono *proporzionali*
- b) gli *angoli* corrispondenti sono *uguali*.

Si dimostra che *una* di queste due condizioni è *sufficiente*.

Anzi: basta l'uguaglianza di *due coppie di angoli* (i rimanenti sono uguali per forza...).

Se le *rette* dei lati corrispondenti sono *parallele*, i triangoli sono *simili* (infatti da qui segue che gli angoli sono uguali).

Utile richiamare il concetto intuitivo: due triangoli simili hanno la *stessa forma*, anche se hanno *grandezze diverse*.

I due triangoli ABC e $A'B'C'$ sono simili

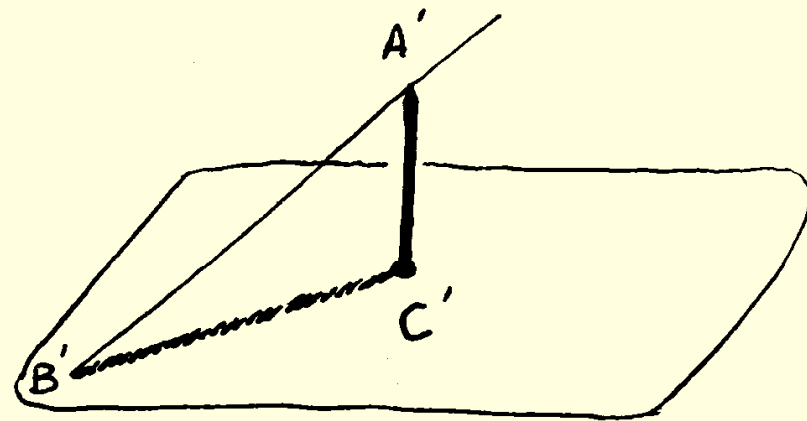
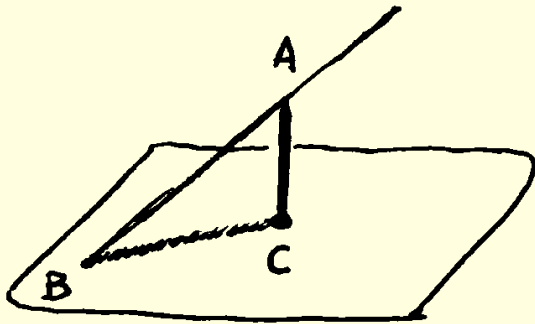
Infatti le rette AB e $A'B'$ sono parallele perché sono raggi solari.

AC e $A'C'$ sono parallele perché sono verticali.

Perciò gli angoli in A e in A' sono uguali.

Anche quelli in C e in C' sono uguali, perché retti.

Così la similitudine è stabilita, e di conseguenza anche la proporzione che avevamo scritta.



Commento sulla matematizzazione e sulla costruzione di una teoria

In questo semplicissimo esperimento abbiamo già visto all'opera i due processi.

La costruzione di una teoria: occorre definire dei concetti che descrivono il comportamento della luce (sorgente, raggi rettilinei ...).

La matematizzazione: la geometria euclidea viene applicata alla situazione sperimentale per interpretare le misure e ricavarne conseguenze (che vedremo).

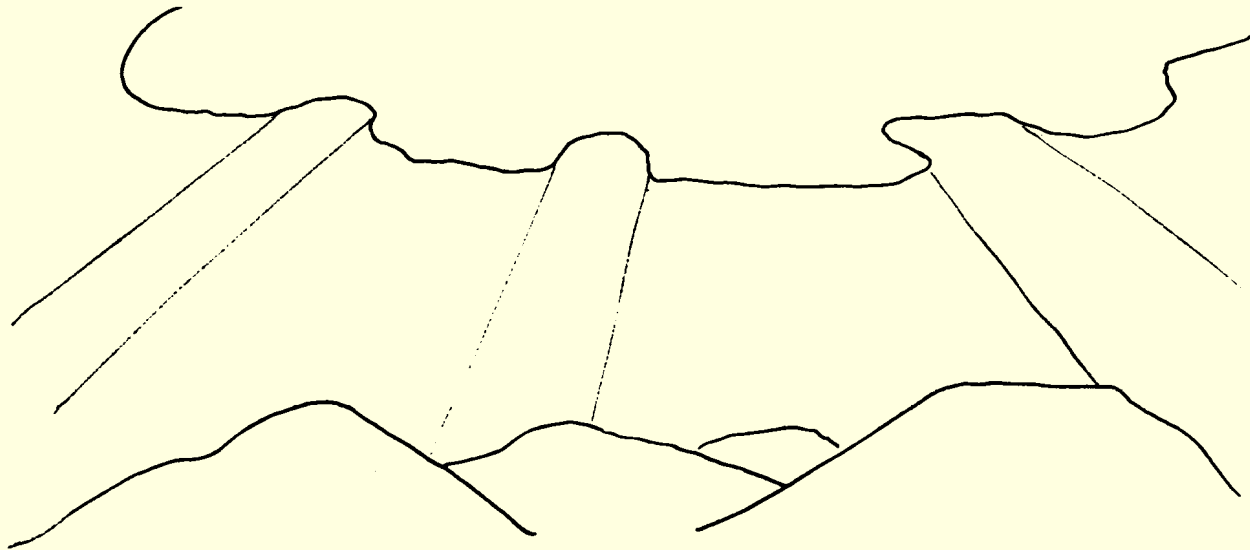
S'intende che non si dicono cose del genere a ragazzi di 14 anni...

È *l'insegnante* che ne deve essere chiaramente consapevole, e che deve trasmetterle *implicitamente*, attraverso il modo di procedere e di ragionare.

Un dubbio...

Davvero i raggi del sole sono paralleli?

Allora come si spiega che a volte si vede in cielo qualcosa del genere?



Una nuvola copre il sole, e da dietro la nuvola partono dei “raggi”, che sembrano provenire tutti da uno stesso punto...

Commento:

Questo “dubbio” ha un secondo fine: collegare ciò che facciamo in classe coi *fenomeni naturali*, con ciò che abbiamo sotto gli occhi e spesso non notiamo.

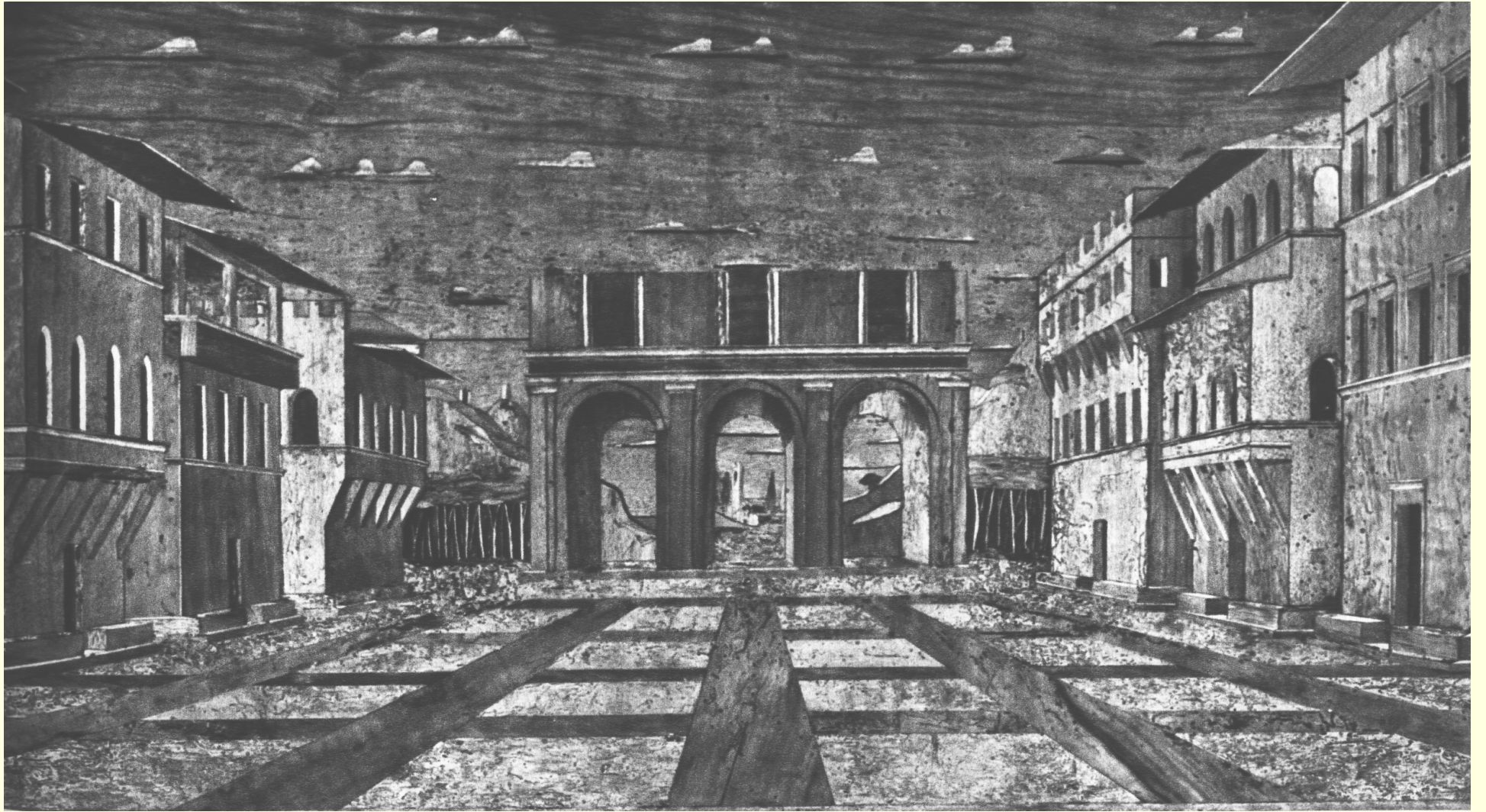
Educare i ragazzi a guardare il mondo con occhio curioso e scientifico.

La prospettiva

La spiegazione è che si tratta di un effetto di *prospettiva*: rette parallele, che si prolungano lontano da chi guarda, appaiono convergere in un punto lontano (all'orizzonte, se si tratta di rette orizzontali).

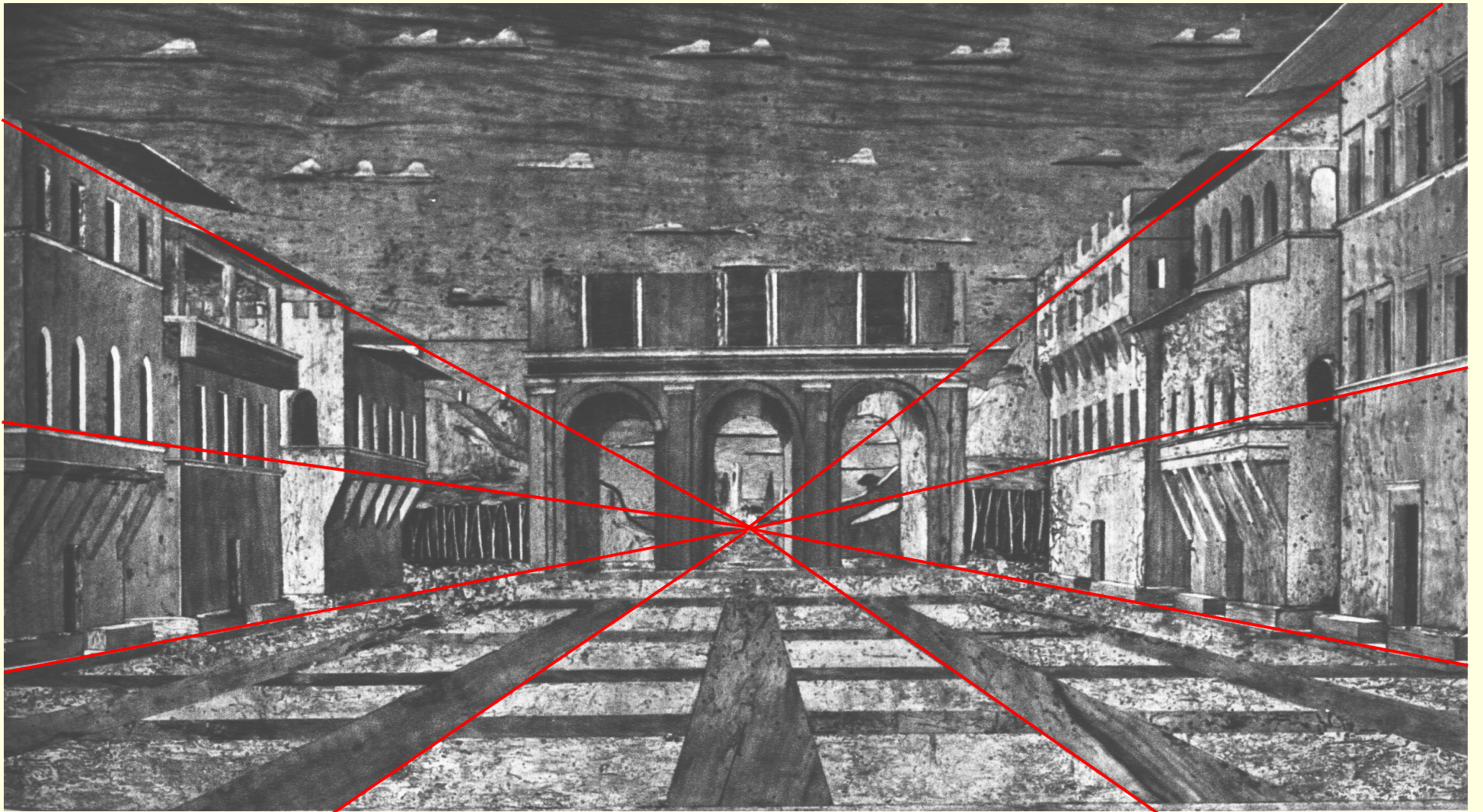
Si può verificare guardando le rotaie di un tratto rettilineo di ferrovia, o una lunga strada dritta.

La figura che segue riproduce un intarsio del '400.



Rappresenta una piazza, e le facciate ai due lati danno l'impressione di essere *parallele*.

Se proviamo a prolungare le linee dei tetti, delle cornici, come pure le linee della pavimentazione della piazza...



... vediamo che finiscono tutte *in uno stesso punto*, (detto “punto di fuga”) che si trova al centro dell'arco di mezzo.

La stessa cosa succede ai raggi del Sole dietro la nuvola: sono paralleli, ma sembra che provengano da uno stesso punto.

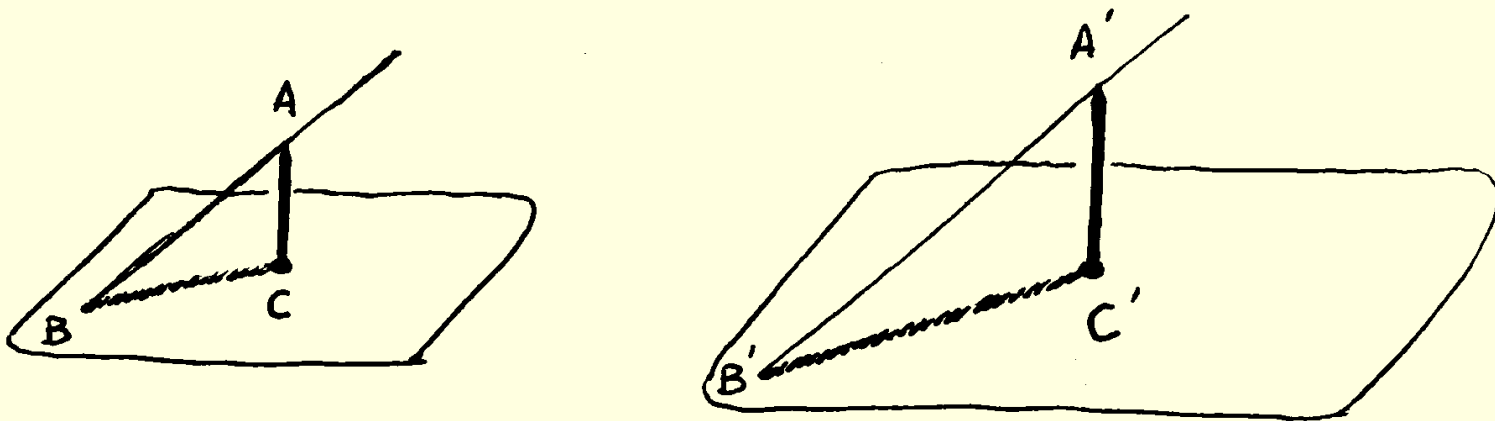
Nota didattica.

La scelta di un intarsio del '400 è intenzionale: il Rinascimento è appunto l'epoca della *scoperta della prospettiva*.

Ma allora, se l'effetto di prospettiva inganna, come possiamo convincerci direttamente di questo parallelismo?

L'unico modo è proprio quello della figura qui sotto: se gli angoli che i due raggi AB e $A'B'$ formano con lo stesso piano orizzontale sono uguali, vuol dire che i due raggi sono paralleli

(Veramente questo non basta: perché? Che cosa altro bisognerebbe misurare?)



Che cosa vuol dire “altezza del Sole”

L'altezza del Sole è cosa diversa dall'altezza di una persona o di una montagna: queste sono *lunghezze*, si misurano in *metri*.

Se facessimo l'esperimento dello gnomone con una lampada stradale, avrebbe senso parlare dell'altezza della lampada (in metri) come distanza dal piano dello gnomone.

Ma il Sole è *estremamente distante*, e al momento non sappiamo neppure a che distanza sta.

Un'altezza definita in questo modo non sarebbe di nessuna utilità.

Quello che invece è utile è l'*angolo* che i raggi del Sole formano col *piano orizzontale*: è questo che vogliamo misurare.

Come si misura l'altezza del Sole

L'angolo in questione (che si chiama appunto “altezza” in astronomia) si può misurare per via grafica: si disegna il *triangolo* su un foglio e si misura l'angolo con un *goniometro*.

Oppure (metodo più veloce, ma da introdurre solo dopo che i ragazzi siano diventati familiari con la misura e col suo significato) si può usare una “tavola delle altezze” o anche un calcolatorino (tangente trigonometrica).

Gli errori di misura: diverse cause

(Nota didattica: non stiamo proponendo di affrontare la “teoria degli errori”! Niente regole, formule, definizioni: il problema *deve nascere dalle osservazioni*.)

Ci sono due aspetti che si rendono evidenti da sé.

Primo: ogni ragazzo si accorge che “è difficile” dare una stima precisa della lunghezza dell'ombra, prima di tutto perché è sfumata.

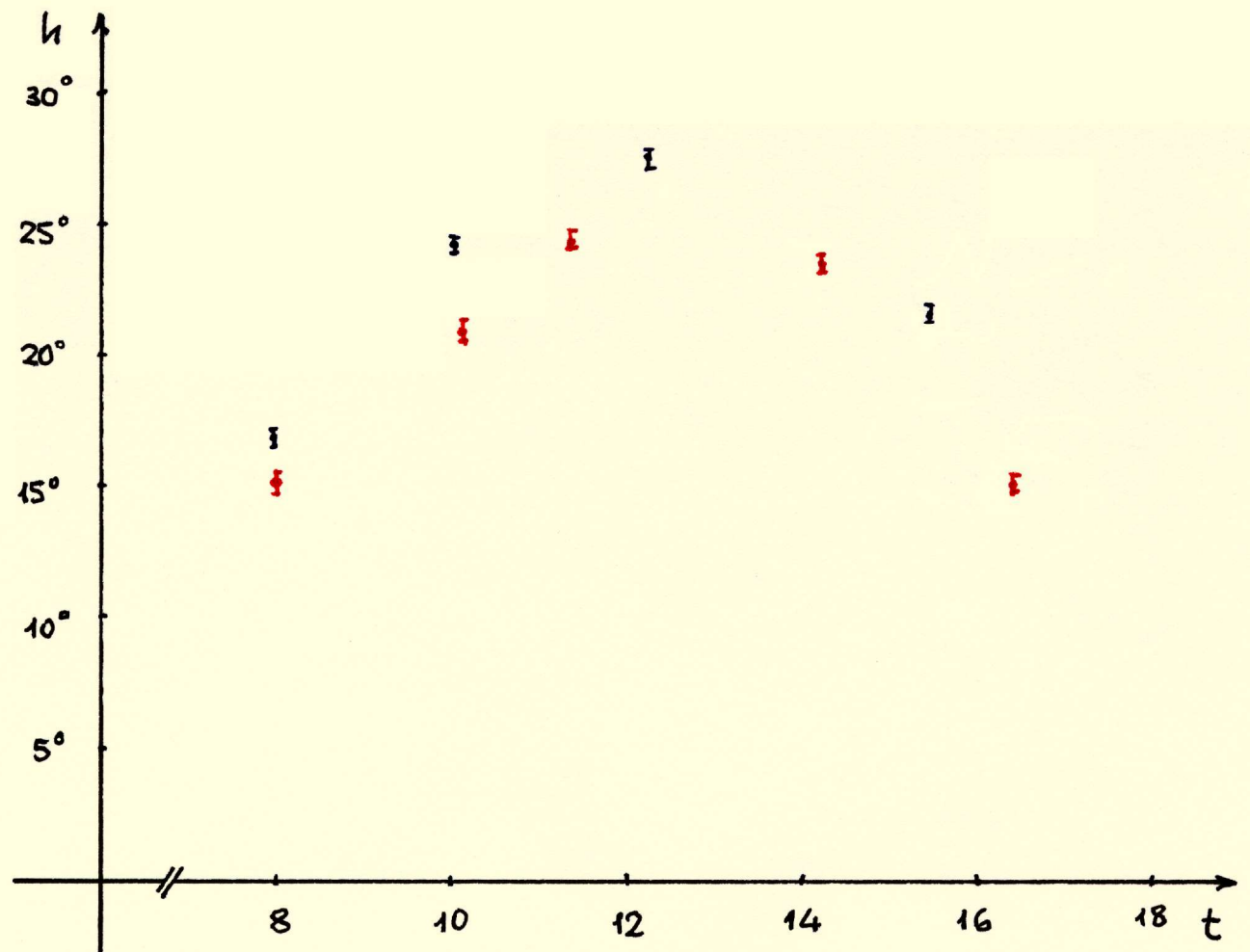
È quindi ragionevole, quando si scrive un valore, attribuirgli anche una *incertezza*, che andrà decisa con “buon senso”.

Potrà essere 1 mm, ma forse anche di più: scriveremo allora qualcosa come 13.7 ± 0.2 (sottinteso centimetri: l'unità di misura verrà scritta in testa alla colonna).

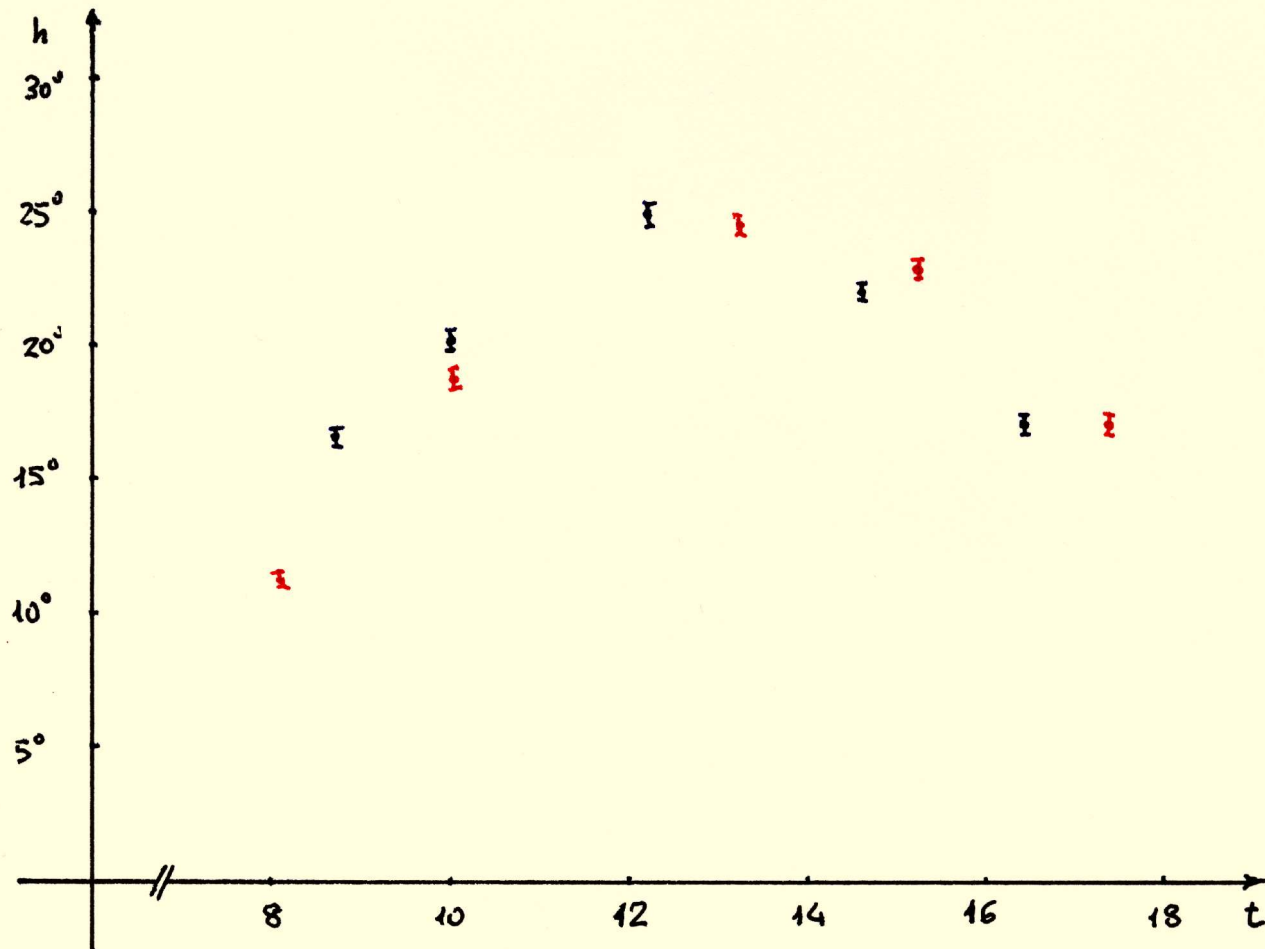
A rigore andrebbe assegnata un'incertezza anche al tempo, ma è facile vedere che questa è tanto piccola che non ha effetto su tutto il nostro lavoro (a meno che uno non usi un orologio del tutto sballato...).

Secondo: un altro tipo di errore si può scoprire confrontando le misure fatte da diversi ragazzi: la cosa risulta chiara se si mettono le misure su uno stesso grafico.

Può accadere che le altezze misurate da Paola (blu) siano *systematicamente* maggiori di quelle di Vittorio (rosso): come si potrà spiegare?



Oppure che il grafico di Vittorio risulti tutto *spostato a destra* rispetto a quello di Paola. In questo caso come lo spieghiamo?



Le spiegazioni più ovvie sono due:

a) il chiodo non è *perpendicolare* alla tavoletta

b) la tavoletta non è stata messa in un piano *orizzontale*.

Ma come facciamo a sapere chi è dei due (Paola o Vittorio) ad aver sbagliato? O magari hanno sbagliato tutti e due?

La soluzione per il chiodo storto è facile: si prende una *squadra* e si controlla.

Per la tavoletta non in piano invece si dovrebbe ricorrere a una *livella*, che non è uno strumento disponibile per tutti i ragazzi.

Il criterio della media

Possiamo ricorrere al *criterio della media*: se usiamo le misure di *tutta la classe*, saranno forse tutte un po' sbagliate, ma lo saranno un po' in un verso e un po' nell'altro; quindi calcolando le medie delle altezze si otterrà una misura *più attendibile*.

Nota: Ecco a che cosa serviva che le misure fossero prese a ore intere.

In tal caso sarà più facile avere un buon numero di misure *simultanee*, quindi *confrontabili*.

Errori sistematici e accidentali

In tutta questa discussione la parola chiave era “sistematicamente”: stiamo infatti discutendo dei possibili *errori sistematici*.

E abbiamo visto come poterli correggere.

Invece la prima causa di errore (l'ombra sfumata) ha carattere *accidentale* e non si manifesta in un andamento sistematico delle misure di uno stesso ragazzo.

Però anche in questo caso la *media* darà un risultato *più affidabile* di ciascuna singola misura.

Nota didattica.

Lo scopo di tutto ciò *non è di fornire regole e teoria!*

È invece di rendere i ragazzi consapevoli dell'*esistenza degli errori* di misura, e dell'*utilità del confronto* tra misure indipendenti.

Culminazione, mezzogiorno vero, punti cardinali

Assumiamo dunque di aver potuto estrarre dalle misure di tutta la classe una tabella media e il relativo grafico, con le loro incertezze (barre di errore).

Il grafico mostra che *in una stessa giornata* l'altezza del Sole dapprima aumenta, poi diminuisce, passando per un massimo.

L'istante del massimo (“culminazione”) si chiama “mezzogiorno” (*vero*, per distinguerlo da quello dell'orologio, che è convenzionale).

La direzione dell'ombra al mezzogiorno vero definisce il “Nord”, e da questo si ricavano tutti gli altri punti cardinali: “Sud” opposto al Nord, “Est” a metà strada, dalla parte dove il Sole sorge, “Ovest” dalla parte opposta.

Ma come si fa a individuare per bene l'istante del mezzogiorno, e quindi la direzione del Nord e del Sud?

Il problema è che in prossimità del *mezzogiorno* l'altezza del Sole *varia pochissimo* e questo — insieme con le incertezze già discusse — rende difficile individuare bene l'istante in cui l'altezza è *massima*.

La soluzione sta nel non cercare direttamente l'istante di *massima altezza* del Sole, ma nel trovare invece *due istanti*, uno prima e uno dopo del mezzogiorno, ai quali il Sole ha la *stessa altezza*.

L'azimut

È ovvio che l'osservazione dell'ombra del chiodo a diverse ore in una stessa giornata non mostra soltanto che essa varia di lunghezza: cambia anche la sua direzione.

Tutti sanno che il Sole sorge a Est e tramonta a Ovest (vedremo poi quanto ciò sia esatto).

Ne segue che al mattino l'ombra sarà verso Ovest, girerà verso Nord a mezzogiorno e finirà a Est al tramonto.

Una volta definita la direzione del Nord, possiamo rendere più precise queste espressioni piuttosto vaghe, misurando *l'angolo* che l'ombra forma con la direzione Nord.

O meglio: dato che noi siamo interessati alla posizione del Sole, non a quella dell'ombra, misureremo l'angolo che la *semiretta opposta all'ombra* forma con la direzione Nord. Questo è l'*azimut* del Sole.

Per essere precisi, l'azimut va da 0° a 360° *in senso orario*: per es. se il Sole sta a Est, il suo azimut è 90° ; a Sud è 180° , a ovest è 270° .

Possiamo dunque dire che nel corso del giorno l'azimut del Sole varia da (.. forse ... circa ...) 90° a (... forse ... circa ...) 270° .

Questi “forse, circa” li preciseremo in seguito.