

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

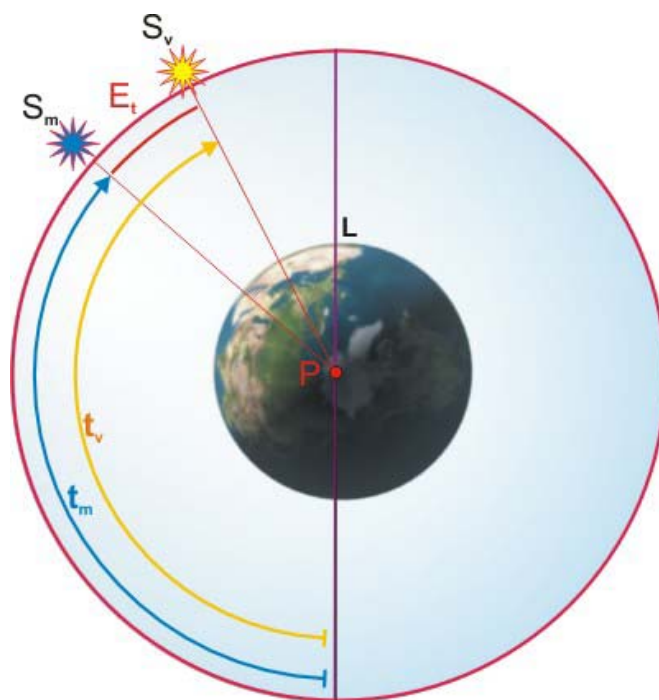


Fig.1 Sole vero e Sole medio. L'equazione del tempo E_t è la differenza tra il tempo solare vero (t_v) e il tempo solare medio (t_m) (N.Scarpel)

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.

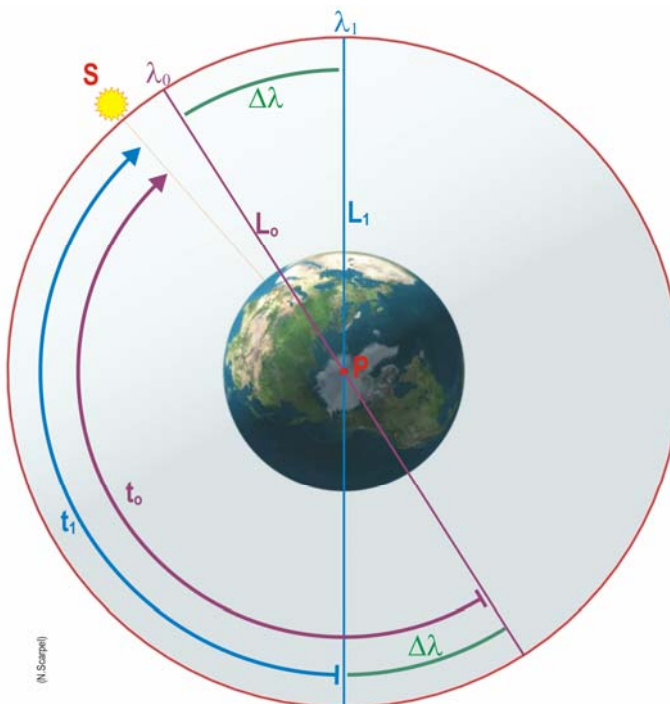


Fig.2 La Terra nella sfera celeste ed in rosso l'Equatore c. La differenza di tempo solare tra due località L_0 e L_1 corrisponde alla loro differenza di longitudine (N. Scarpel)

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.*

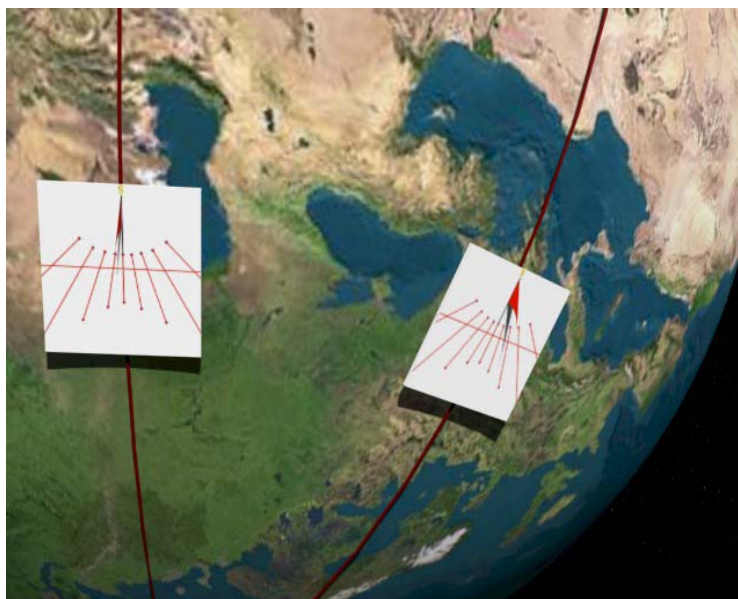


fig.3 Diversità di tempo solare tra due località poste a differente longitudine. Nella località posta a sinistra, più a Est, sono $12,30$ mentre nell'altra, più a Ovest sono all'incirca le $10,30$. (N.Scarpel)

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

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

esperienze

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.

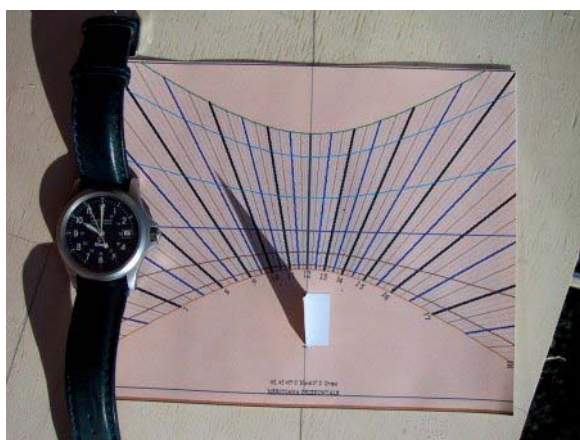


Fig. 1. Ora solare e ora dell'orologio a Venezia il 10/2/2004 (N.Scarpel)

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'.

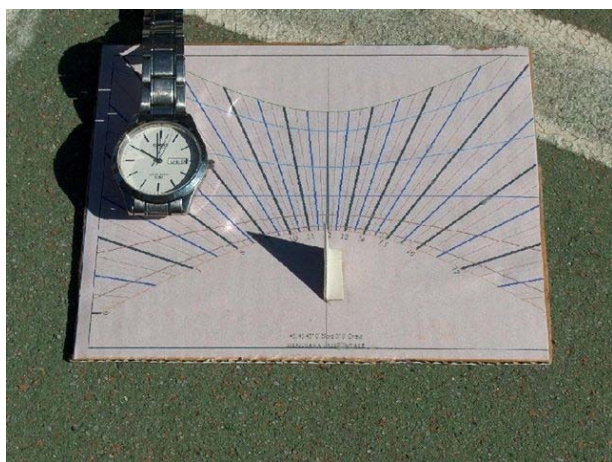


fig.1 Istituto Comprensivo "Einaudi" di Lequio Tanaro. Longitudine 7° 57'E. Ora solare indicata: 8h 37m circa (B.Rolfo)

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.

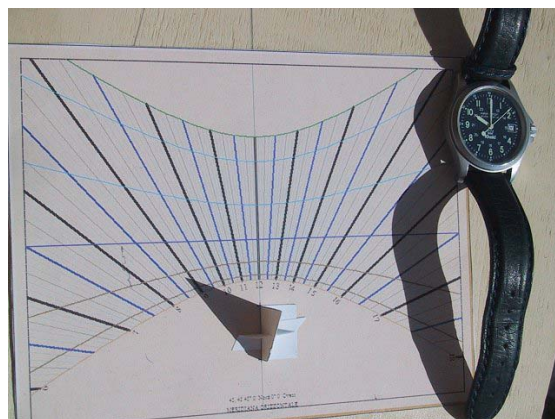


fig.2 Scuola Media "Pisani" - Lido di Venezia. Longitudine 12° 22'E. Ora solare indicata: 8h 55m circa (N.Scarpel)