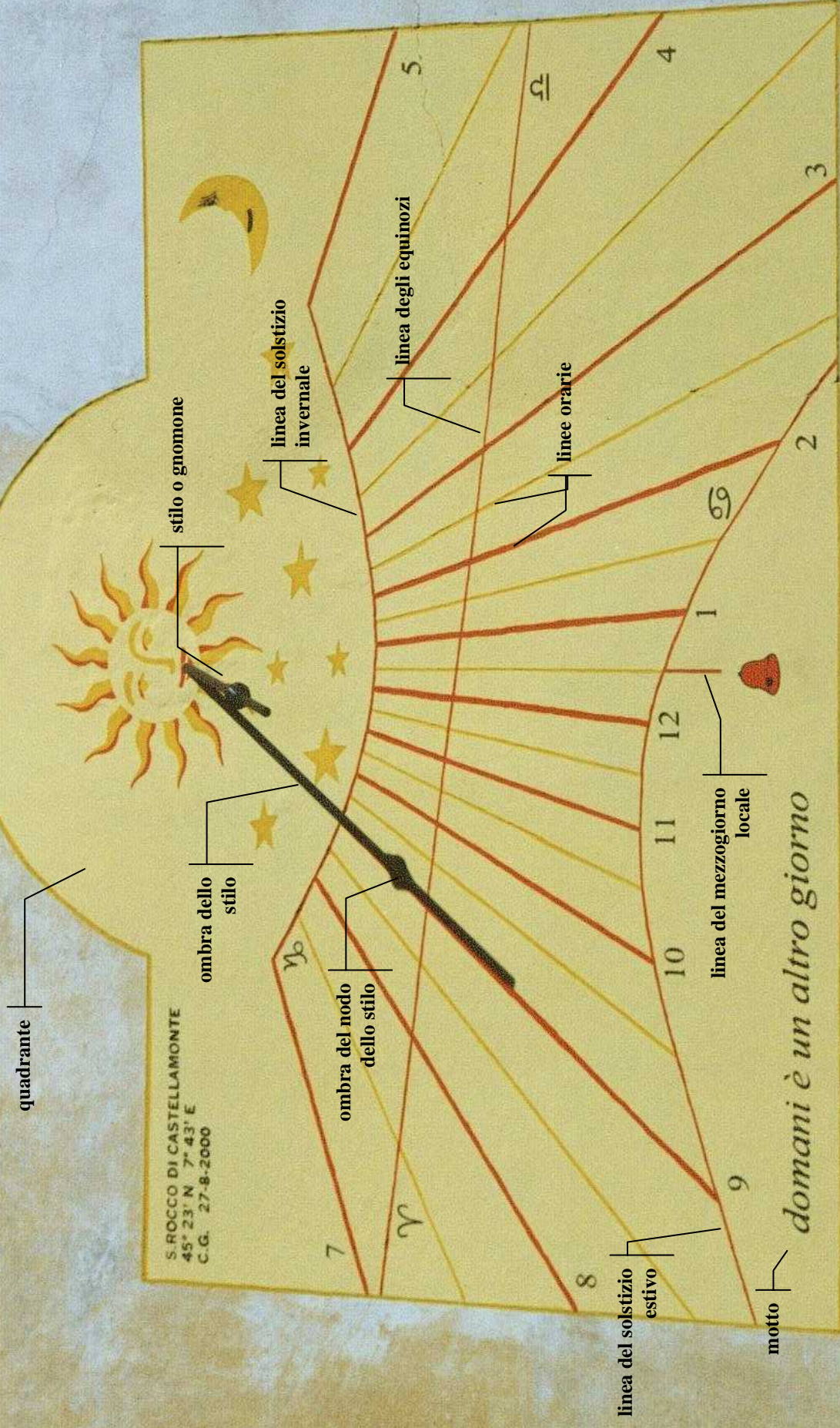


Orologi Solari



Mi sono messo a scrivere queste note per diversi motivi.

Anzitutto perché molti mi chiedono informazioni sugli orologi solari, su come funzionano, come si disegnano, e non sempre una spiegazione verbale è sufficiente. Volevo quindi avere qualche disegno esplicativo da mostrare e qualcosa di scritto da lasciar loro, nella speranza di trasferire un po' della mia passione.

Poi, dopo avere letto tanti articoli e qualche libro, averci ragionato sopra a lungo, essermi cimentato con i calcoli di progetto e poi con la realizzazione di alcune meridiane (ed averne immaginate ancora di più) ho sentito in qualche modo la necessità di fare ordine su quello che avevo capito e provare quindi a metterlo giù sulla carta.

Non sono un esperto, solamente un appassionato, quindi non pretendo di avere scritto qualcosa di esaustivo né tanto meno di nuovo.

Spero solo di essere riuscito a trasmettere a chi legge questi fogli un minimo di comprensione dei principi di base di un orologio solare ed anche forse l'interesse ad approfondire l'argomento ed a tentare l'impresa, per nulla difficile, di costruirne uno.

Posso assicurare che vedere l'ombra sul muro che giorno dopo giorno, anno dopo anno, segue i percorsi previsti e tracciati con le proprie mani dà una enorme soddisfazione.

Sicuramente avrò commesso degli errori, sia di distrazione sia forse anche concettuali. Sarò grato a chi vorrà segnalarmeli.

Gian Casalegno

Nota all'edizione 2007

Dopo aver sviluppato un programma per il calcolo di orologi solari che ritengo non sfiguri rispetto a quelli freeware che conosco, ho ritenuto doveroso inserirne la descrizione in queste pagine.

Ho tolto inoltre tutte le formule matematiche, che servivano solo a scoraggiare il lettore, ho corretto qualche sbavatura ed espanso alcuni argomenti.

Rinnovo l'invito a segnalarmi errori o suggerimenti.

INDICE

COME SI LEGGONO - CONCETTI BASE	4
COME SI LEGGONO - APPROFONDIMENTI	8
COME FUNZIONANO	16
COME SI COSTRUISCONO	20
RIFERIMENTI	41

COME SI LEGGONO - CONCETTI BASE

Premessa

Quella che descrivo nel seguito è la più comune forma di orologio solare su parete verticale attualmente in uso, ovvero con linee orarie francesi indicanti il tempo solare locale o del fuso orario, con stilo di tipo polare (o assostilo).

Più avanti, negli *Approfondimenti*, verranno descritti altri tipi di quadranti.

Lettura dell'ora

La lettura dell'ora su un quadrante solare è simile alla lettura di un comune orologio a lancette.

In questo caso l'unica lancetta è l'ombra che lo stilo (o gnomone) genera sulla parete sulla quale sono disegnate le linee orarie: l'ombra segna le ore, manca la lancetta per i minuti.

Quando l'ombra si sovrappone ad una linea oraria, l'ora è quella indicata a fianco della linea oraria stessa. Quando l'ombra si trova tra due linee l'ora è una via di mezzo tra le indicazioni riportate a fianco delle due linee; con un po' di buon senso è comunque possibile stimare anche il valore approssimato dei minuti. A volte possono essere presenti le linee delle mezz'ore ed anche dei quarti d'ora, ciò semplifica la lettura.

L'ombra dello stilo ruota attorno al punto di incastro dello stilo in senso antiorario, ovvero al contrario di quanto fa la lancetta di un orologio. Vedremo quindi al mattino l'ombra sul lato sinistro del quadrante, essa si sposterà quindi in basso e verso destra fino a raggiungere la linea del mezzogiorno, quindi procederà nel pomeriggio verso l'alto a destra fino a morire al tramonto sul lato destro del quadrante.

Il quadrante è dunque simile a quello di un comune orologio a lancette, è diviso in 24 anziché 12 ore, e viene percorso dalla lancetta (ombra) in senso antiorario.

Per fare un esempio, l'orologio raffigurato in copertina segna le ore 9 passate da pochi minuti, diciamo circa le 9:05.

Inutile dire che il sole non è al corrente della eventuale ora legale! Se si è quindi d'estate, con l'ora legale in vigore, si deve aggiungere un'ora a quanto indicato dall'orologio solare per ottenere l'ora corretta. Lo stesso orologio dell'esempio andrebbe in tal caso letto come le ore 10:05 circa.

L'Equazione del Tempo

Non spaventi la terminologia scientifica, in realtà si tratta semplicemente dell'errore che necessariamente ogni orologio solare presenta rispetto ad un orologio classico.

Un orologio solare indica l'ora corretta¹ 4 sole volte l'anno (15 aprile, 13 giugno, 1 settembre e 24 dicembre), mentre negli altri giorni può avere un ritardo fino a 14' 16" (l'11 febbraio) o un anticipo massimo di 16' 29" (il 3 novembre). La ragione è la seguente.

La terra, come noto, ruota su sé stessa compiendo un giro completo in 24 ore. In realtà queste 24 ore sono un valore medio su un anno, essendo la velocità di rotazione diversa, anche se di poco, giorno per giorno. Ciò significa che la posizione del sole nel cielo accumula secondi di ritardo (o di anticipo) ogni giorno, arrivando ad una differenza rispetto a quanto segnato dal nostro orologio di più o meno 15 minuti circa.

¹ Ovviamente si parla di "ora corretta" rispetto al tempo medio artificiale creato dall'uomo (spiegato più avanti) mentre rispetto al tempo solare una meridiana, se ben fatta, è precisissima.

Come detto questo errore è inevitabile, legato alle leggi fisiche che regolano il moto degli astri. È però possibile correggerlo, in quanto l'errore è noto e può essere sommato o sottratto alla lettura dell'orologio solare.

Tale errore, quando visualizzato in forma di grafico o di tabella, viene appunto detto Equazione del Tempo. Talvolta la tabella o il grafico vengono rappresentate sul quadrante solare stesso, in modo che sia facile valutarne il valore ed eseguire la correzione.

La tabella seguente riporta il valore approssimato dell'Equazione del Tempo nel corso dell'anno:

	1	6	11	16	21	26
gennaio	3' 29"	5' 45"	7' 51"	9' 42"	11' 16"	12' 31"
febbraio	13' 35"	14' 5"	14' 16"	14' 6"	13' 39"	12' 56"
marzo	12' 20"	11' 15"	10' 0"	8' 37"	7' 9"	5' 39"
aprile	3' 51"	2' 23"	1' 1"	- 0' 12"	- 1' 18"	- 2' 12"
maggio	- 2' 54"	- 3' 23"	- 3' 38"	- 3' 38"	- 3' 25"	- 2' 58"
giugno	- 2' 10"	- 1' 20"	- 0' 21"	0' 41"	1' 46"	2' 50"
luglio	3' 50"	4' 44"	5' 29"	6' 3"	6' 24"	6' 31"
agosto	6' 19"	5' 52"	5' 11"	4' 16"	3' 7"	1' 48"
settembre	0' 0"	- 1' 38"	- 3' 21"	- 5' 7"	- 6' 54"	- 8' 39"
ottobre	- 10' 19"	- 11' 52"	- 13' 15"	- 14' 27"	- 15' 23"	- 16' 3"
novembre	- 16' 27"	- 16' 24"	- 16' 0"	- 15' 14"	- 14' 8"	- 12' 41"
dicembre	- 10' 56"	- 8' 56"	- 6' 43"	- 4' 20"	- 1' 53"	0' 35"

Tabella 1 — Valori approssimati dell'Equazione del Tempo
(valori da aggiungere al tempo solare per ottenere il tempo medio)

Il valore indicato in tabella deve essere aggiunto al tempo indicato dall'orologio solare: dove il segno è positivo l'orologio solare è in ritardo, dove il segno è negativo l'orologio solare è in anticipo².

Supponendo ad esempio che l'orologio in copertina sia stato fotografato l'11 di ottobre, essendo l'EdT in tal giorno pari a -13'15", possiamo dire che l'ora segnata è circa 9:05-13'15" \cong 8:52 ovvero, vista l'approssimazione nella lettura della posizione dell'ombra, circa 10 minuti alle nove.

Naturalmente correggere l'indicazione del quadrante con l'equazione del tempo è una pignoleria: gli orologi solari dovrebbero essere usati come una volta per dare l'idea del momento della giornata, dirci se è più o meno l'ora del pranzo o se sta per avvicinarsi il tramonto, riportandoci così a quella filosofia della vita e dello scorrere del tempo che apparteneva al mondo contadino dei nostri antenati.

Un'ultima osservazione: alcuni orologi solari consentono direttamente la correzione dell'Equazione del Tempo tramite una linea curva, a forma di otto, detta *Analemma* o *Lemniscata*. Di questo si parlerà negli approfondimenti.

² Non esiste una definizione standard della EdT, la si trova anche con il segno invertito. In tal caso il valore della EdT deve essere sottratto anziché aggiunto al tempo indicato dall'orologio solare.

Lettura della stagione

Se le linee orarie sono indispensabili in un orologio solare allo scopo di leggervi l'ora del giorno, così non sono le linee diurne, che indicano la stagione, e possono quindi essere presenti o meno sul quadrante (proseguendo l'analogia con un orologio classico, se l'indicazione delle ore è indispensabile, l'indicazione della data è opzionale).

Le cosiddette linee diurne, quando presenti, misurano la declinazione solare (ovvero l'inclinazione dei raggi solari rispetto al piano equatoriale terrestre) e quindi, essendo i mesi e le stagioni legati proprio alla declinazione solare, segnano il momento in cui ci troviamo nell'anno.

Normalmente sul quadrante vengono indicati i segni zodiacali, anziché mesi o stagioni, essendo questi strettamente legati a momenti astronomici precisi.

La linea più comunemente tracciata è quella degli equinozi (di primavera il 21 marzo, di autunno il 23 settembre). Si tratta di una linea retta che interseca le linee orarie; essa è orizzontale per un quadrante esposto a sud, è inclinata a sinistra o a destra per un quadrante declinante rispettivamente a ovest ed a est.

Le altre linee più comuni sono quelle del solstizio invernale (21 dicembre) ed estivo (21 giugno). Sono due linee curve (iperboli) che incrociano le linee orarie, la prima al di sopra e la seconda al di sotto della linea equinoziale. Corrispondono ai momenti di minima e massima altezza del sole nel cielo.

A volte si ritrovano tracciate anche le 4 linee legate alle date di ingresso nei rimanenti 4 segni zodiacali.

Come si legge l'informazione della stagione ?

In questo caso non è più l'inclinazione dell'ombra a consentirne la lettura, quanto la sua lunghezza. Osserviamo l'estremità dell'ombra: quando essa si trova esattamente su una delle linee descritte allora ci troviamo in coincidenza di un solstizio o di un equinozio o della data di ingresso in un segno zodiacale; quando l'ombra si trova tra due linee dobbiamo nuovamente utilizzare il buon senso e stimare approssimativamente il mese dell'anno o la stagione.

Attenzione, a volte non è l'estremità dell'ombra dello stilo a darci questa indicazione, ma la macchia d'ombra creata da un rigonfiamento o nodo posto vicino alla sua estremità (come nel quadrante solare in copertina). Più raramente questo rigonfiamento è sostituito da un disco con un foro al centro (detto foro gnomonico): in questo caso è la macchia di luce creata dal foro che consente la lettura; inoltre in questo caso potrebbe non esserci l'ombra dello stilo a segnalare l'ora, è il cerchio di luce che con la sua posizione fornisce contemporaneamente indicazione dell'ora e della stagione.

Guardando ad esempio l'orologio in copertina si può dedurre che la foto è stata scattata o poco prima dell'equinozio di primavera (quindi tra fine febbraio ed inizio marzo) o poco dopo quello d'autunno (quindi verso la fine di ottobre).

Il mezzogiorno locale

A partire da fine 1800 (in Italia dal 1893) il mondo è diviso in 24 fusi orari, all'interno dei quali l'ora è stata uniformata per evidenti motivi di praticità. Questo però ha comportato che il mezzogiorno, inteso come l'istante che divide in due il giorno ed in corrispondenza del quale il sole si trova alla sua massima altezza nel cielo, resta tale solamente al centro di ogni fuso orario, mentre allontanandoci da questo verso est o verso ovest il vero mezzogiorno solare avviene rispettivamente in anticipo o in ritardo rispetto al mezzogiorno medio del fuso (4 minuti per ogni grado di longitudine).

Ad esempio a Castellamonte (TO) questa differenza ammonta a 29m 9s e trovandosi ad ovest del meridiano di riferimento del fuso orario il mezzogiorno vero si ha alle 12:29:09 (a meno dell'errore della Equazione del Tempo !).

Su un orologio solare verticale il mezzogiorno locale corrisponde sempre alla linea verticale che parte dalla base dello stilo polare. A volte questa linea viene tracciata sul quadrante ed identificata con la lettera M o con il simbolo stilizzato di una campana (vedi foto in copertina).

Il motto

Benché inutile per l'indicazione del tempo, il motto è un elemento tradizionale degli orologi solari.

A volte esprime antiche saggezze, a volte è ironico, spesso negli orologi più antichi esprime concetti religiosi legati alla vacuità della vita ed alla certezza della morte.

Devo dire che nella mia esperienza la scelta del motto è sovente ancor più impegnativa e sofferta di quanto lo sia il progetto.

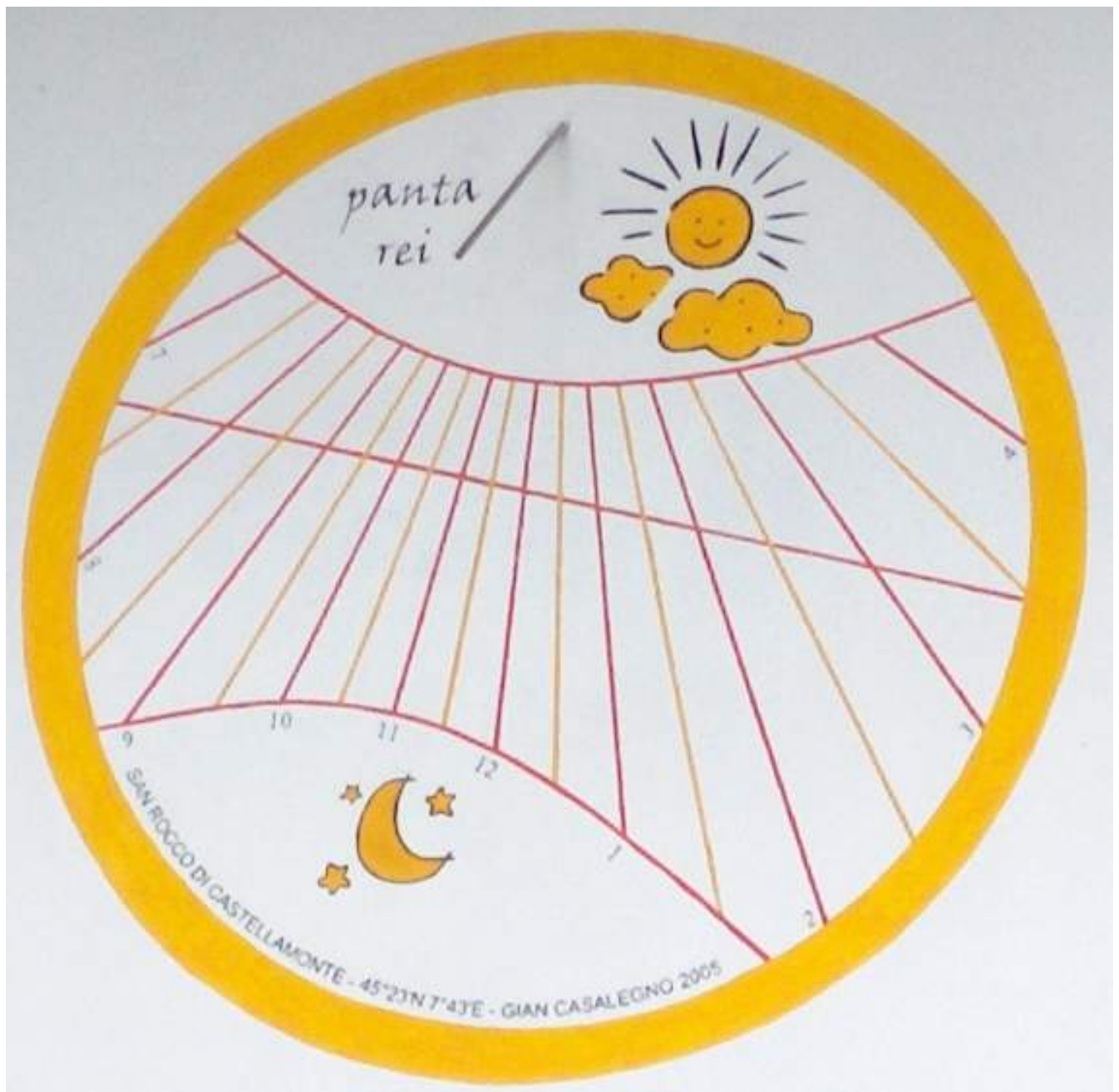


Figura 1 — Orologio solare indicante il TMEC

COME SI LEGGONO - APPROFONDIMENTI

Ore temporali o canoniche

È un antico metodo per la misura del tempo nell'arco della giornata. Se ne trova traccia nelle sacre scritture ("Uscì di nuovo verso l'ora terza ... uscito ancora verso la sesta e la nona ora ... uscito verso l'undicesima ..." - Matteo 20, 1-16).

Il giorno di luce, dall'alba al tramonto, viene suddiviso in 12 ore uguali, denominate ora prima, ora seconda ecc.

Poiché la durata della luce non è costante durante l'anno (più lunga d'estate, più corta d'inverno, pari a 12 delle attuali ore solamente agli equinozi) si ha che la durata di un'ora canonica non è costante durante l'anno. Ciò non costituiva ovviamente un problema nell'antichità ma sarebbe inaccettabile oggi giorno.

Restarono in uso fino al XII secolo.

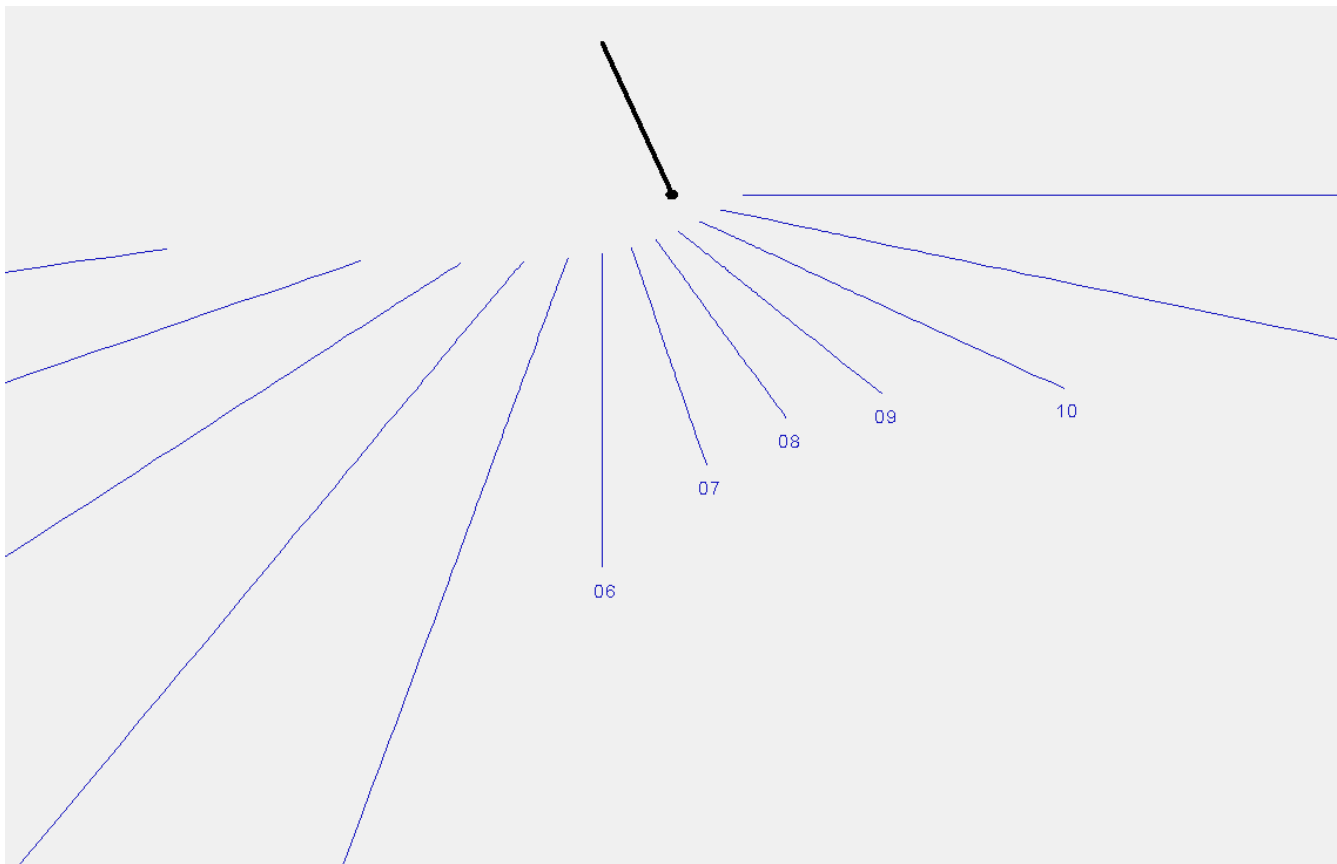


Figura 2 — Ore Temporal

Ore Babilonesi e Ore Italiane

Sono ore eguali, ovvero di durata costante durante l'anno. Si misurano dividendo il giorno in 24 parti uguali, l'ora 0 coincide con il sorgere del sole per le Ore Babilonesi, con il tramonto per le Ore Italiane.

Poiché alba e tramonto avvengono in momenti diversi nel corso dell'anno, pur essendo queste ore di durata sempre uguale, l'inizio della giornata cambia di giorno in giorno, non c'è quindi una relazione fissa con l'ora che usiamo oggi.

Vennero introdotte intorno al 1200 su influenza della cultura araba, nonché per il fatto che i primi orologi meccanici cominciavano ad essere costruiti ed ovviamente le ore da questi indicate erano costanti per tutto il periodo dell'anno.

Si ritrovano ancora su antichi orologi solari, sovente contemporaneamente e sovrapposte alle linee orarie francesi, e vengono a volte ancora utilizzate in orologi moderni.

Si riconoscono dal fatto che le linee orarie non convergono in un punto. Inoltre le linee babilonesi (Figura 3) presentano una linea orizzontale a sinistra del quadrante (l'ora 0 dell'alba, non presente in figura in quanto il quadrante è declinante ad ovest) e le ore successive diventano mano a mano più verticali; le linee italiane sono speculari, presentano una linea orizzontale a destra del quadrante (l'ora 24 del tramonto) e le ore precedenti diventano mano a mano più verticali (Figura 4).

È interessante osservare che avendo a disposizione entrambe le misurazioni si può conoscere il tempo trascorso dall'alba (ora babilonese), il tempo che manca al tramonto (24 - ora italiana) e la durata del periodo di luce (somma delle due). È evidente quanto queste informazioni potessero essere utili in un mondo contadino.

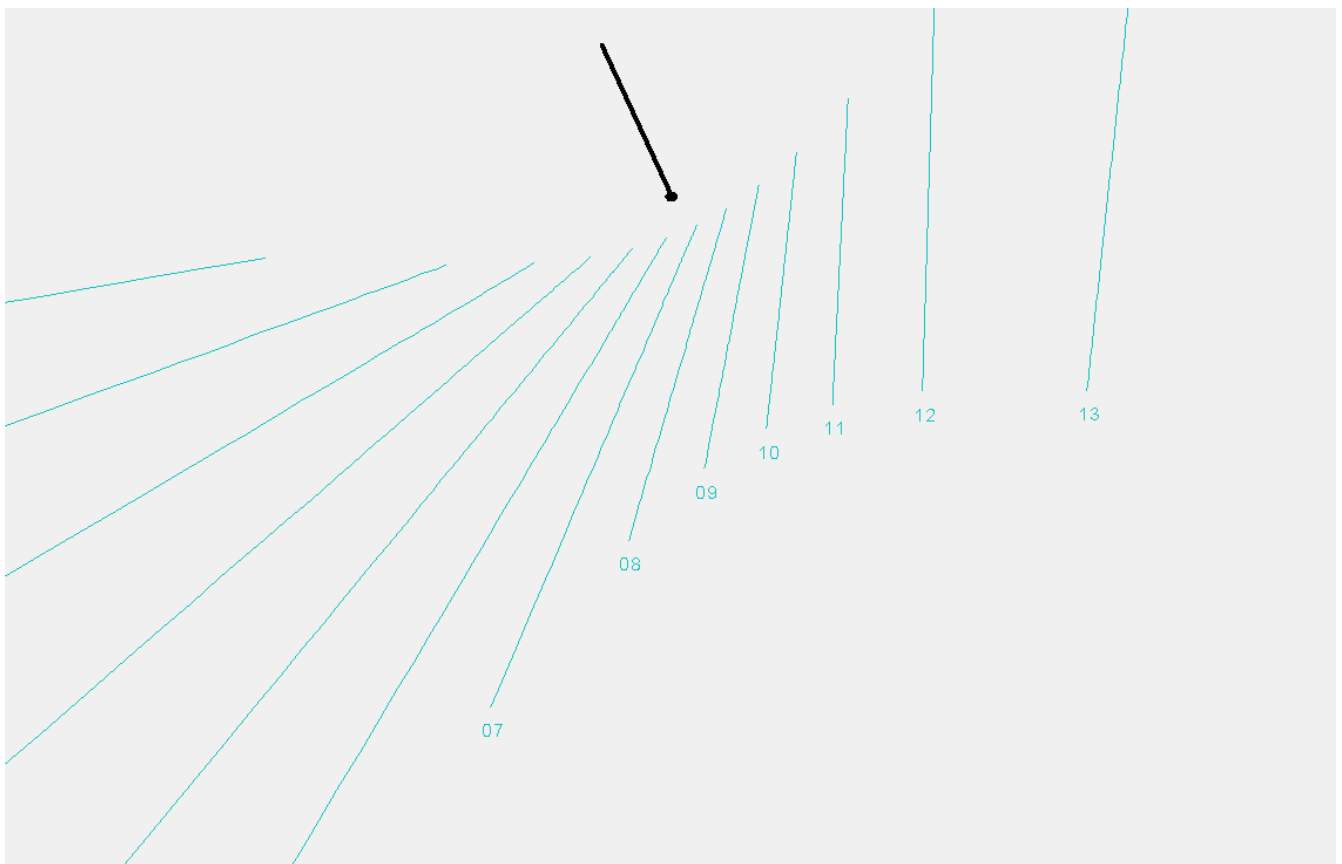


Figura 3 — Ore Babilonesi

Ore Francesi o Moderne o Equinoziali

Introdotte tra la fine del 1700 e l'inizio del 1800, sono le ore che utilizziamo ancor oggi.

Sono ore eguali che dividono il giorno intero in 24 parti uguali, l'ora 12 coincide con il passaggio del sole sul meridiano locale (istante di massima elevazione del sole nel cielo) e l'ora zero coincide con la mezzanotte.

Un orologio solare ad ore francesi si riconosce per il fatto che le linee orarie convergono tutte in un unico punto (che coincide con la base dello stilo polare o assostilo).

In Figura 5 è rappresentato un orologio con ore babilonesi, italiane e francesi oltre alle linee diurne. Si noti che, essendo la parete declinante ad ovest, non compare l'ora 0 babilonese (cioè l'alba) mentre è presente l'ora 24 italiana (tramonto).

Si noti inoltre che sulla linea equinoziale tutte e tre le misurazioni coincidono³, essendo all'equinozio la durata del giorno pari a 12 ore esatte.

Un'ultima osservazione : nelle figure 3, 4 e 5 sono rappresentate linee orarie o parti di linee orarie che non verranno mai toccate dall'ombra, ad esempio le linee delle ore italiane 1, 2 e 3 che corrispondono ad ore notturne. Forse è sbagliato tecnicamente, ma il risultato in figura 5 è secondo me più armonioso di un grafico che venisse troncato bruscamente.

La figura 6 riassume la definizione di linee orarie temporali, babilonesi ed italiane, mettendole in relazione con le attuali ore moderne o francesi.

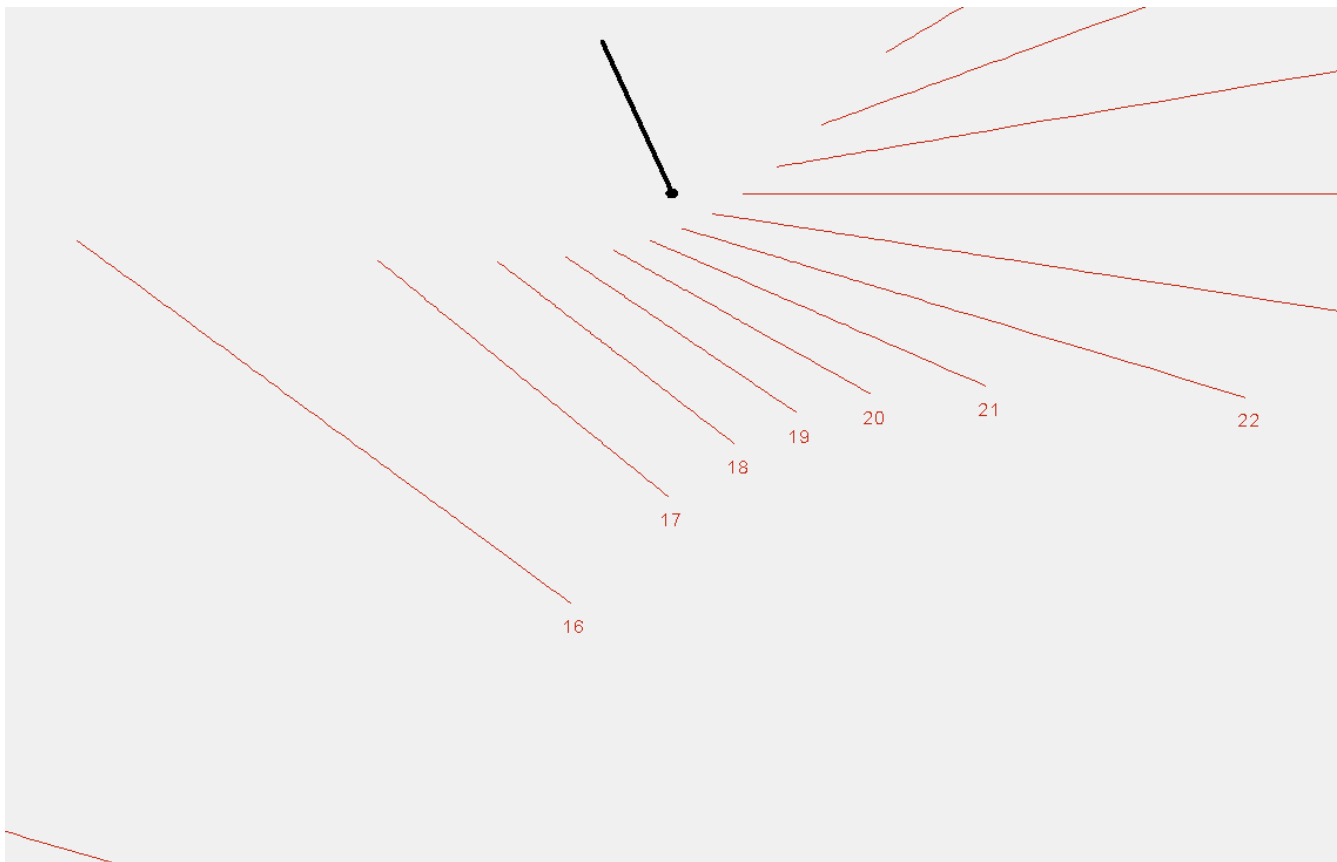


Figura 4 — Ore Italiane

³ Tale coincidenza si perderebbe se le linee orarie francesi fossero tracciate per il fuso di riferimento, quindi comprensive dell'errore di longitudine: infatti le linee francesi si sposterebbero per la differenza di longitudine mentre quelle italiane e babilonesi resterebbero invariate.

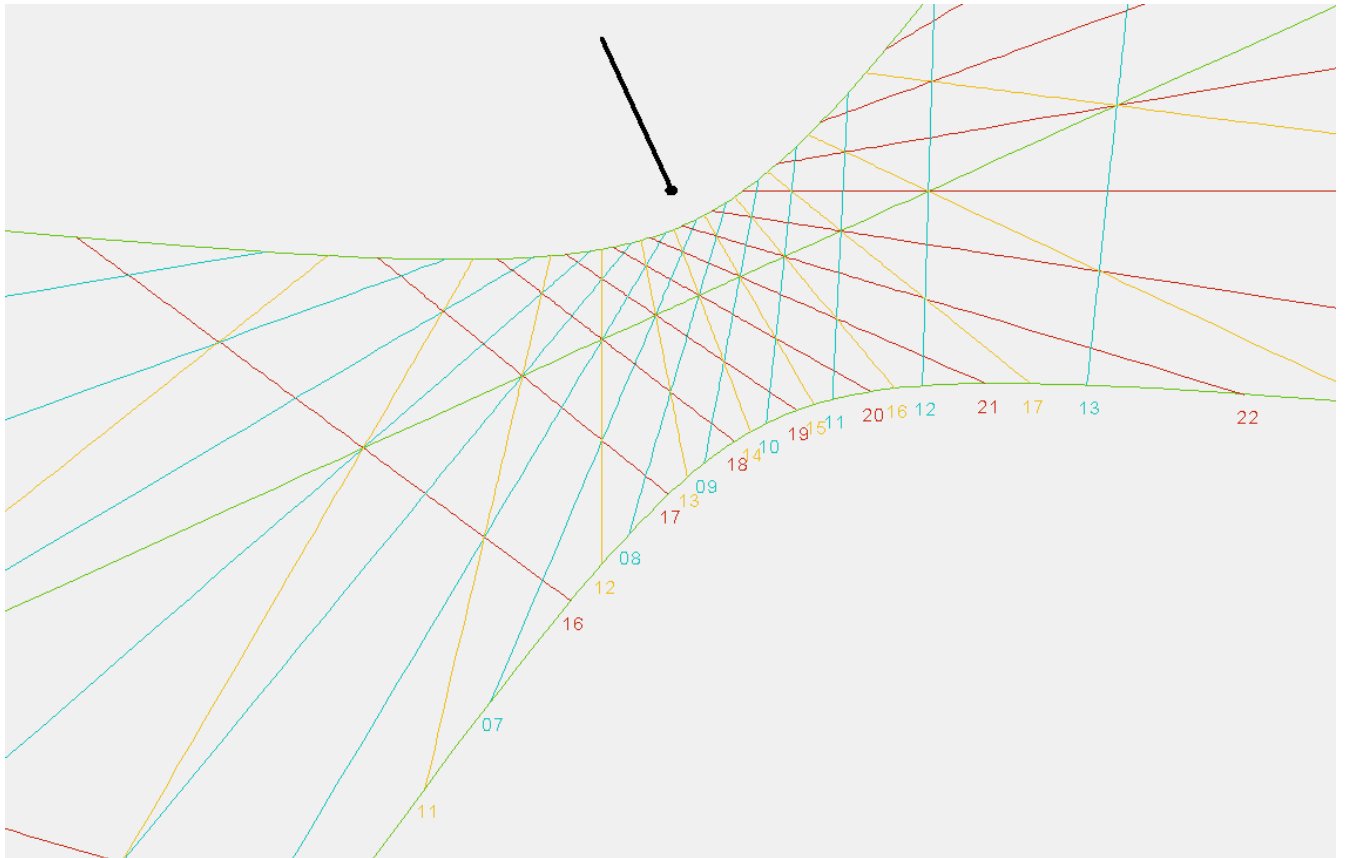


Figura 5 — Ore Babilonesi, Italiane e Francesi

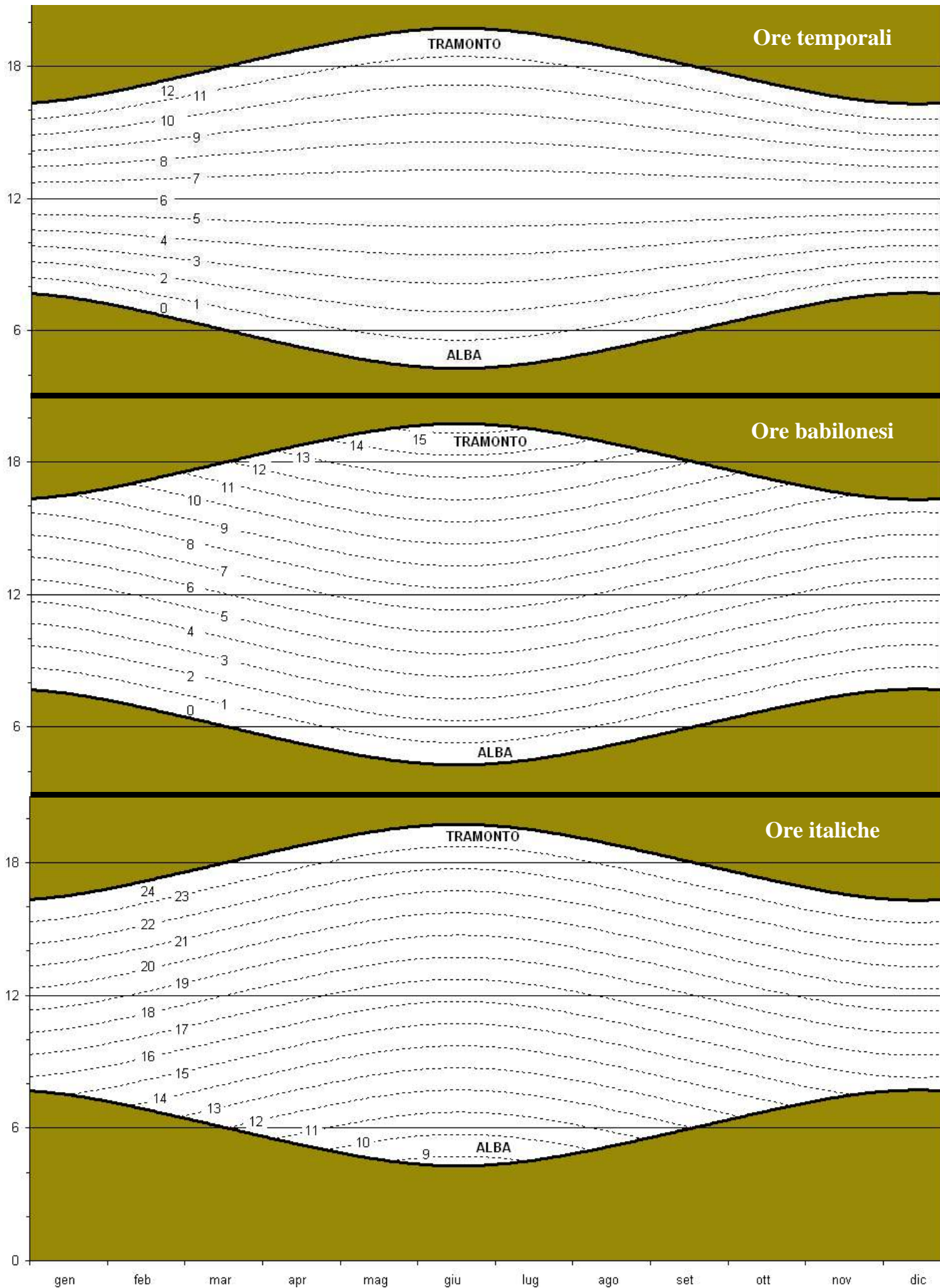


Figura 6 — Confronto tra ore moderne, temporali, babilonesi ed italiane durante l'anno.

Tempo Solare Vero, Tempo Solare Medio, Tempo Medio dell'Europa Centrale

L'orologio solare indica l'ora del giorno basandosi sulla posizione angolare del sole rispetto alla terra.

L'ora così indicata dall'orologio solare misura il Tempo Solare Vero: è strettamente legata alla longitudine del posto e cambia da luogo a luogo, anche all'interno di uno stesso stato (ad esempio il mezzogiorno è l'istante in cui il sole si trova sul meridiano locale, avviene quindi in due istanti diversi per due località con longitudine diversa).

Il Tempo Solare Medio è il Tempo Solare Vero mediato sull'arco dell'anno in modo da evitare variazioni nella durata dell'ora durante l'anno.

Si è detto infatti parlando della equazione del tempo che la rotazione della terra su sé stessa non è costante, e ciò fa sì che i giorni non abbiano sempre la stessa durata. Fin dalla introduzione dei primi orologi meccanici si decise di creare un tempo medio fittizio tale che i giorni fossero tutti di uguale durata.

La misura del tempo che dipende dalla posizione longitudinale del luogo, ovvero il Tempo Solare Vero o Medio, è stata abbandonata nel 1800 (in Italia nel 1866) per passare dapprima al tempo medio della capitale e poi al tempo medio del fuso orario (in Italia nel 1893). Quest'ultima misura del tempo è detta, all'interno del nostro fuso, Tempo Medio dell'Europa Centrale (TMEC).

La differenza che esiste tra Tempo Solare e Tempo Medio del Fuso Orario è come detto proporzionale alla distanza in gradi tra il meridiano locale ed il meridiano di riferimento del fuso e vale esattamente 4 minuti per ogni grado di longitudine.

Un orologio solare può essere progettato per indicare uno dei due tempi:

- Tempo Solare Vero, nel qual caso l'errore rispetto al nostro orologio è l'errore di longitudine sommato alla equazione del tempo; in questo caso la linea del mezzogiorno è sempre sulla verticale
- Tempo Solare del Fuso, nel qual caso l'errore rispetto al nostro orologio è unicamente l'equazione del tempo. La linea del mezzogiorno si discosta dalla verticale di un angolo proporzionale alla distanza dal meridiano di riferimento, ed è a sinistra per i luoghi ad ovest ed a destra per i luoghi ad est del meridiano del fuso.

In entrambi i casi il quadrante può includere la Lemniscata: allora esso indica, almeno ad una certa ora del giorno, anche il Tempo Medio, rispettivamente locale o del fuso orario.

Analemma o Lemniscata

Si è detto che il tempo vero (quello legato al movimento del sole) ed il tempo medio (quello che l'uomo ha inventato per scopi pratici) si differenziano di una quantità che varia nel corso dell'anno. Tale differenza è denominata Equazione del Tempo.

Un orologio solare indica il tempo vero, quindi necessita di una correzione per poter risalire al tempo medio.

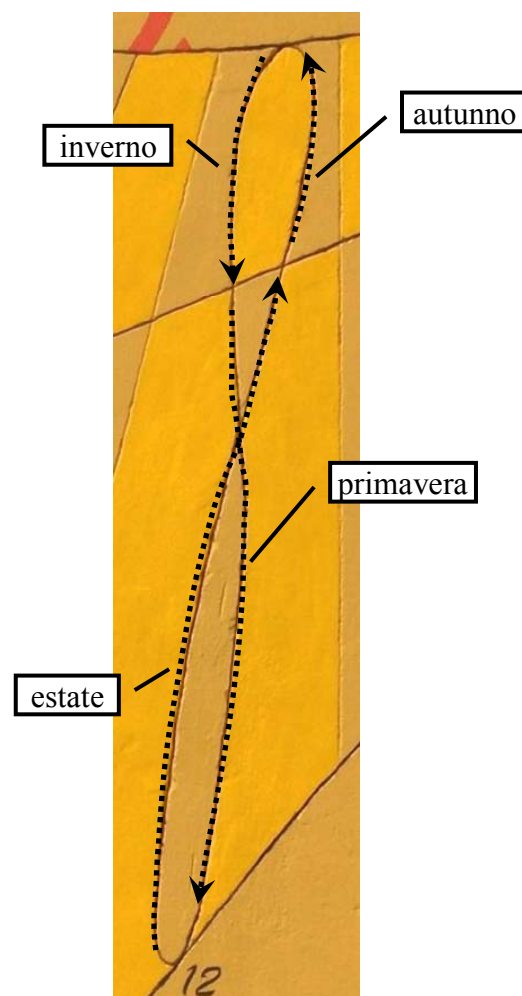


Figura 7 — Lemniscata

In realtà è possibile inserire questa informazione sul quadrante solare. Anziché tracciare la linea oraria retta corrispondente all'ora vera, si traccia punto per punto la posizione dell'ombra della punta dello stilo sempre alla stessa ora media e nel corso dell'anno.

Si ottiene così una curva a forma di 8 che viene chiamata Analemma o, impropriamente, Lemniscata, la quale permette di leggere sull'orologio solare il tempo medio.

Allo scopo di non appesantire eccessivamente il quadrante rendendone difficile la lettura, si usa tracciare (eventualmente) la lemniscata sulla sola linea del mezzogiorno⁴.

L'ombra della punta dello stilo segue durante l'anno, allo scoccare delle ore 12:00 del tempo medio, l'andamento della lemniscata percorrendo nell'ordine (Figura 7):

- il ramo superiore sinistro (dalla linea del solstizio d'inverno a quella dell'equinozio) durante l'inverno
- il ramo inferiore destro (dalla linea dell'equinozio a quella del solstizio d'estate) durante la primavera
- il ramo inferiore sinistro (dalla linea del solstizio d'estate a quella dell'equinozio) durante l'estate
- il ramo superiore destro (dalla linea dell'equinozio a quella del solstizio d'inverno) durante l'autunno.

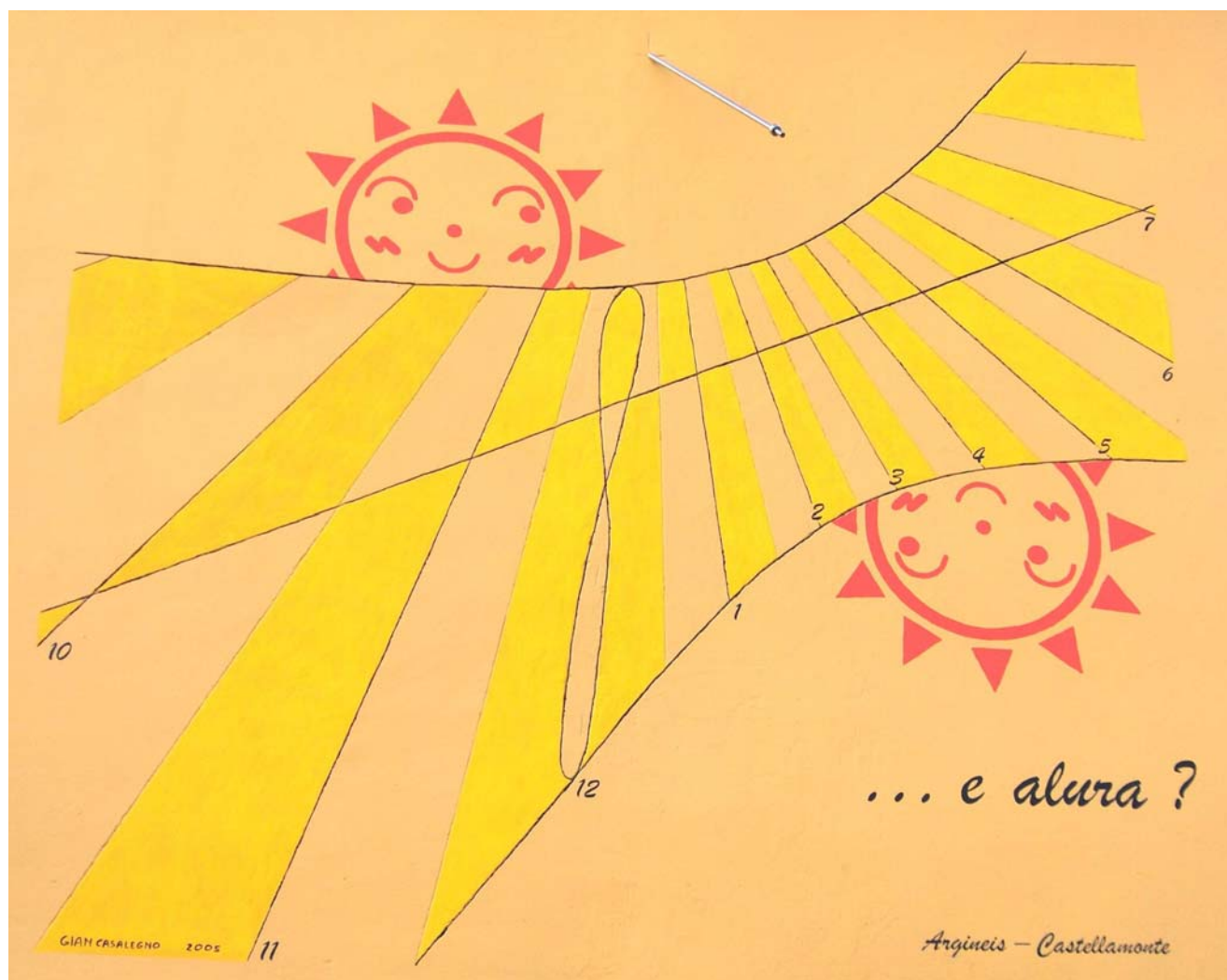


Figura 8 — Orologio solare con lemniscata

⁴ Esistono però quadranti dove ogni linea oraria è sostituita dalla lemniscata. A volte sono sdoppiati, ovvero vi sono due quadranti, ognuno con metà lemniscata: il primo per l'inverno e la primavera, il secondo per estate ed autunno.

La foto in Figura 8 mostra un esempio di orologio solare indicante il tempo medio dell'Europa centrale con lemniscata sulla linea del mezzogiorno.

Per convincersi che l'analemma non è un'invenzione ma è l'effetto reale di un fenomeno fisico (rotazione non costante della terra sul suo asse), si osservi la fotografia di Figura 9. Essa è la sovrapposizione di più foto, prese sempre alla stessa ora (12:00 ora locale) in giorni diversi durante l'anno.

Essa mostra lo scostamento della posizione del sole rispetto al nostro orologio (tempo medio) e può essere considerata la fotografia della Equazione del Tempo (o il grafico della declinazione solare rispetto alla EdT).

Assostilo o Stilo Polare

Lo stilo dei moderni orologi solari è posizionato in modo tale da essere parallelo all'asse terrestre ed è per questo denominato assostilo o stilo polare.

Questa particolare disposizione fa sì che, nel caso delle ore francesi, tutta l'ombra dello stilo indichi l'ora, indipendentemente dalla stagione.

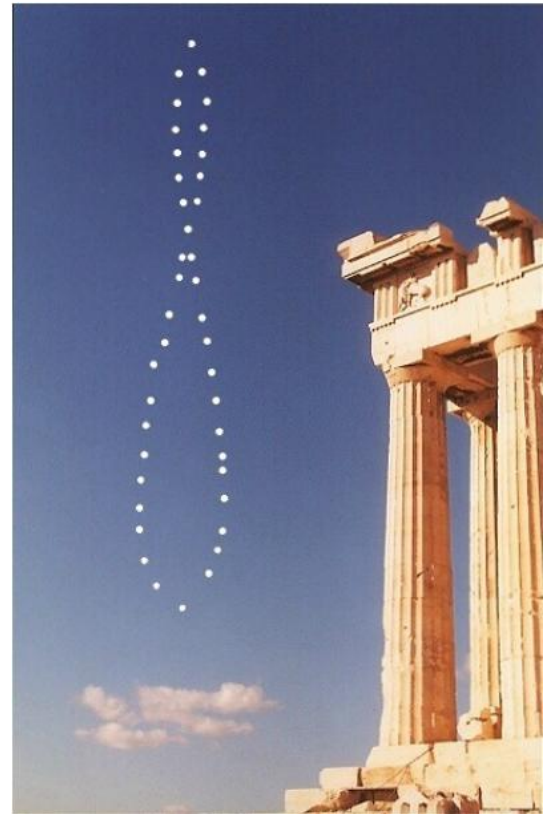


Figura 9 — Analemma (per gentile concessione dell'autore Anthony Ayiomamitis)

Ortostilo

Negli orologi solari più antichi, ed in genere in quelli che riportano ore canoniche o babilonesi o italiane, lo stilo è perpendicolare al quadrante ed è per questo denominato ortostilo.

L'inconveniente di tale disposizione, per le ore francesi, è che soltanto la punta dello stilo indica l'ora, rendendo più difficile ed anche meno gradevole la lettura dell'orologio.

Meridiana

Nel linguaggio comune si fa riferimento ad un orologio solare con il termine Meridiana.

Ciò non è corretto, la vera Meridiana è un tipo particolare di orologio solare che segna unicamente il mezzogiorno, normalmente quello locale (non quello del fuso). Quasi sempre sulla linea del mezzogiorno (o meridiana) sono segnati i 12 segni zodiacali e sovente è tracciata la lemniscata.

Veniva usata in passato per regolare gli orologi meccanici, scarsamente precisi.

Famose sono le meridiane a camera oscura, ovvero realizzate in un ambiente chiuso nel quale penetra un raggio di luce attraverso un foro gnomonico, ad esempio quella della basilica di S. Petronio a Bologna.

COME FUNZIONANO

La terra come orologio solare

Come noto la terra ruota intorno al proprio asse compiendo in 24 ore una rotazione completa. Essa ruota inoltre intorno al sole compiendo una rivoluzione completa in un anno (365 giorni) su un'orbita leggermente ellittica (Figura 10).

Immaginiamo di isolare dalla terra il solo disco dell'equatore ed immaginiamo l'asse terrestre come un elemento fisico e non solo virtuale (Figura 11).

I raggi del sole illuminano il disco equatoriale e l'asse terrestre forma su questo un'ombra rettilinea.

Mentre la terra ruota su sé stessa, l'ombra si sposta sul disco: in 24 ore la terra compie una rotazione completa, l'ombra percorre tutto il disco ed infine dopo 24 ore torna al punto di partenza.

Immaginiamo allora di dividere il disco equatoriale in 24 spicchi uguali ognuno di 15 gradi (Figura 12).

L'ombra dell'asse terrestre, nel corso della giornata, percorrerà tutti e 24 gli spicchi che abbiamo disegnato, esattamente uno spicchio ogni ora.

Se allora marchiamo ogni linea tracciata sul disco con la corrispondente ora del giorno, otteniamo un orologio solare (che funziona in questo caso ideale per 24 ore al giorno).

L'orologio solare equatoriale o equinoziale

Immaginiamo ora di prendere il disco descritto, con il suo asse, e di portarlo sulla superficie della terra, mantenendo esattamente lo stesso orientamento originale (disco parallelo all'equatore terrestre, asse parallelo all'asse terrestre).

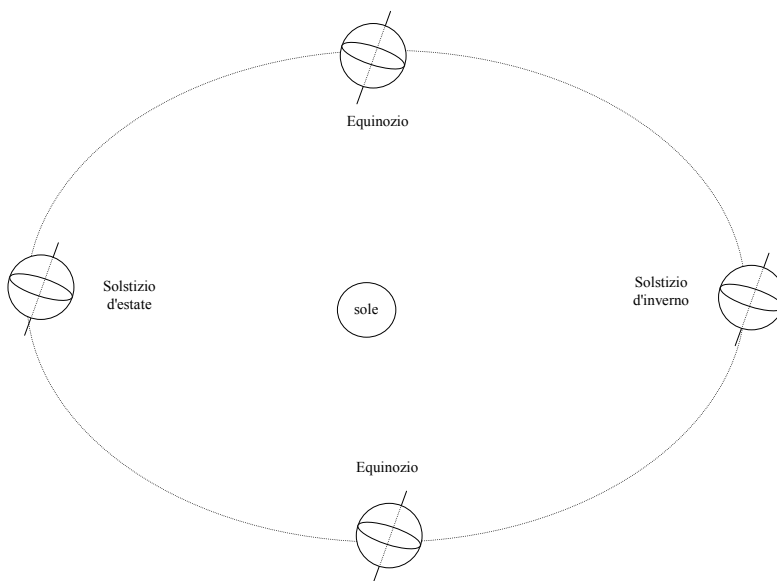


Figura 10 — Moto di rivoluzione della terra

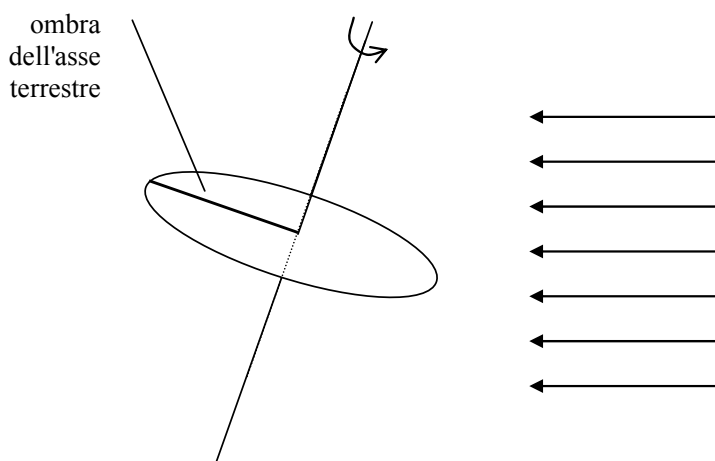


Figura 11 — La terra come orologio (1)

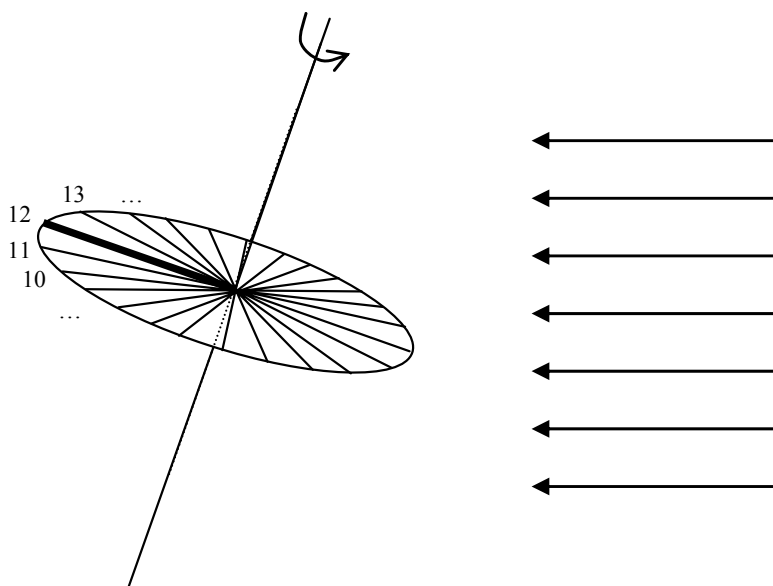


Figura 12 — La terra come orologio (2)

Essendo il sole a distanza infinitamente più grande rispetto alle dimensioni della terra, questo spostamento non modifica il funzionamento descritto ed il disco continua a segnare correttamente le ore.

Possiamo quindi costruire un vero disco diviso in 24 parti uguali su entrambe le facce, inserendovi un asse perpendicolare passante per il centro, e posizionarlo in modo tale da mantenere l'orientamento descritto (disco parallelo all'equatore, asse parallelo all'asse terrestre).

Abbiamo ottenuto la forma più semplice di orologio solare, quello detto *equatoriale* o *equinoziale*.

Occorre però ancora osservare che l'asse terrestre non è perpendicolare al piano che contiene la sua orbita intorno al sole (piano dell'eclittica) ma è inclinato di $23^{\circ} 26'$.

Ciò fa sì che i raggi del sole durante l'anno giungano sulla terra con una angolazione variabile e, come noto, questo fenomeno causa l'alternarsi delle stagioni.

Di conseguenza per l'orologio equatoriale succederà che:

- d'inverno i raggi del sole illuminano la parte inferiore del disco (fino all'angolo di $- 23^{\circ} 26'$ al solstizio); il nostro orologio funziona con la faccia inferiore (Figura 13)
- agli equinozi i raggi solari giungono perpendicolari all'asse e paralleli al disco; il nostro orologio solare non segna quindi nulla in quanto tutto il disco è in ombra (Figura 14)
- d'estate i raggi del sole illuminano la parte superiore del disco (fino all'angolo di $23^{\circ} 26'$ al solstizio); il nostro orologio funziona con la faccia superiore (Figura 15).

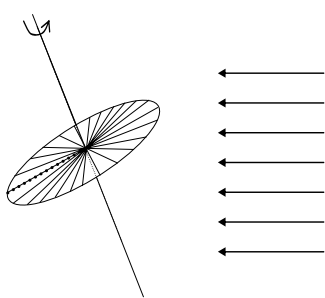


Figura 13 — Equatoriale al solstizio invernale

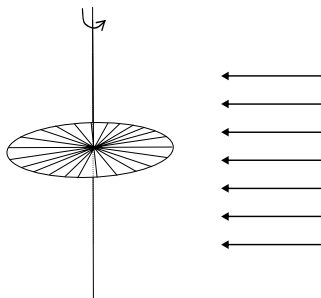


Figura 14 — Equatoriale agli equinozi

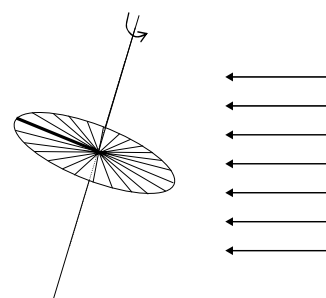


Figura 15 — Equatoriale al solstizio estivo

I vantaggi di questo tipo di orologio sono:

- l'estrema facilità costruttiva
- la lettura dell'ora dall'alba al tramonto

Gli inconvenienti sono:

- la difficoltà di lettura dell'ora intorno all'equinozio (raggi solari paralleli al disco) e durante l'inverno (lettura sulla superficie inferiore)
- l'occupazione di un volume: necessita quindi di uno spazio aperto come un giardino

Come deve essere posizionato l'orologio equatoriale ? Dipende dalla latitudine φ del luogo.

In particolare, il disco è inclinato rispetto al piano orizzontale di un angolo pari a $(90^{\circ} - \varphi)$ e l'asse (stilo o gnomone) di un angolo pari a φ (vedi Figura 16), orientato in direzione nord-sud.

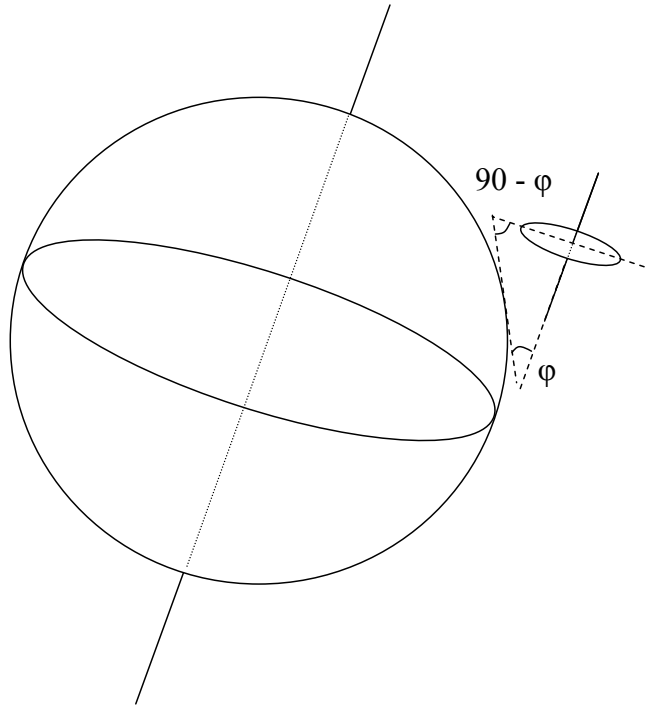


Figura 16 — Posizionamento orologio equatoriale

Orologio solare su superfici piane comunque orientate

Ora che abbiamo visto come funziona l'orologio equatoriale, facciamo qualche modifica al nostro modello.

Prendiamo un orologio equatoriale correttamente posizionato rispetto all'orizzontale e poniamo un piano verticale in modo tale che intersechi il disco e l'asse (Figura 17).

L'ombra che l'asse (il nostro stilo) proietta sul disco continua evidentemente sul piano verticale fino ad incontrare il punto di intersezione tra asse e piano verticale.

Mano a mano che il sole si sposta nel cielo l'ombra sul disco si sposta, di 15° ogni ora, e l'ombra sul piano verticale si sposta di conseguenza.

Si noti che il piano che abbiamo tracciato non deve essere necessariamente né verticale né con la faccia rivolta esattamente a sud: è intuitivo comprendere che un qualunque piano che intersechi il disco e l'asse riporterà un'ombra rettilinea che si sposta nel tempo e che quindi può indicare l'ora del giorno (il problema semmai è essere in grado di tracciare correttamente le linee orarie)

Si noti infine che l'ombra dello stilo sul piano passerà sempre per il punto di intersezione tra stilo e piano.

Quello che abbiamo ottenuto è un quadrante solare piano con stilo polare e linee orarie francesi.

In base all'orientamento del piano del quadrante si possono avere le seguenti situazioni particolari :

1. piano orizzontale => orologio orizzontale
2. piano verticale => orologio verticale
3. piano perpendicolare allo stilo => orologio equinoziale
4. piano parallelo allo stilo => orologio polare

Nel capitolo seguente si vedranno le varie tecniche possibili per la costruzione.

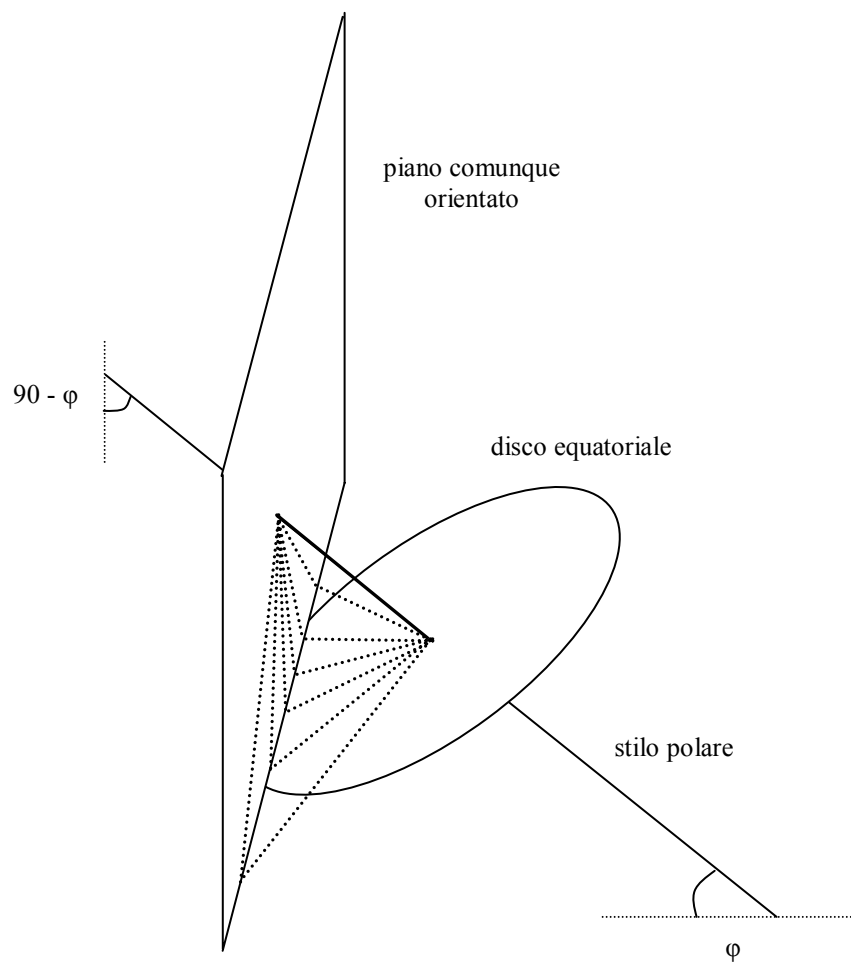


Figura 17 — Orologio solare su superficie piana comunque orientata

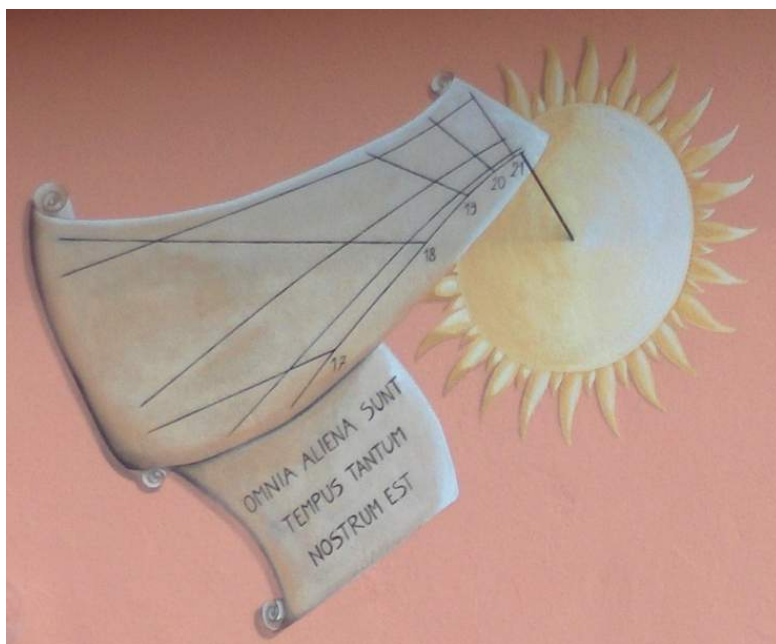


Figura 18 — Orologio solare su superficie fortemente declinante (165° ad ovest)

COME SI COSTRUISCONO

Non pretendo qui di dare indicazioni esaurienti per il progetto di un orologio solare, esistono libri e libri sull'argomento.

Il mio solo scopo è rispondere brevemente ed esaurientemente (se possibile) alla domanda che mi viene sempre rivolta quando si parla dell'argomento: come si fa a progettare un orologio solare ?

Pertanto cercherò di descrivere brevemente i vari metodi che si possono utilizzare per la costruzione di un orologio su parete verticale, con particolari dettagli per quelli che più si prestano ad una migliore comprensione del funzionamento dell'orologio, nonché i passi preliminari indispensabili per la misura dei parametri che poi intervengono nel progetto. Si rimanda al capitolo *Riferimenti* per avere informazioni più esaustive.

Vorrei infine sottolineare che chiunque, anche chi non ha mai sentito parlare di meridiane, non conosce la trigonometria, non ha conoscenze anche minime di astronomia, è in grado di costruirsi la sua meridiana, utilizzando tra i tanti metodi possibili quello a lui più congeniale.

Metodo empirico

E' anche detto da qualcuno *metodo pazienza*, in quanto sono necessari mesi per la sua realizzazione. D'altra parte chiunque è in grado di seguirlo, l'unica difficoltà può essere quella di tenere conto della Equazione del tempo.

Scelta la parete su cui si intende realizzare il quadrante (parete non necessariamente verticale e non necessariamente orientata a sud) si pianta nel muro uno stilo. Non è necessario che lo stilo abbia un orientamento particolare: è preferibile che sia perpendicolare rispetto al muro, ma solamente per motivi estetici, nel caso non venga alla fine sostituito da uno stilo polare.

Le dimensioni dello stilo devono essere tali da coprire con la sua ombra la zona del muro prevista per l'orologio. Può essere conveniente fare le prime prove intorno al solstizio d'estate (21 giugno) quando il sole è più alto nel cielo e si ha quindi la massima lunghezza dell'ombra.

A questo punto occorre, ad ogni ora della giornata in cui il sole illumina il muro, segnare il punto preciso del muro in cui cade l'ombra della estremità dello stilo.

Attenzione: l'ora deve essere quella solare, non quella del tempo medio che segna il nostro orologio da polso. Quindi, rifacendosi ad una tabella della Equazione del Tempo (EdT) come quella presentata precedentemente o utilizzando appositi programmi che forniscono questo dato per qualunque giorno dell'anno (ad esempio il programma *Dialist's Companion*, vedi [13]) occorre calcolare il valore della EdT nel giorno corrente e con tale dato correggere l'indicazione del nostro orologio⁵.

Ad esempio, il 26 giugno la EdT vale 2m 50s, il che significa che il sole è in ritardo di 2 minuti e 50 secondi, inoltre è in vigore l'ora legale. Questo significa che ad esempio le 12:00:00 (12 esatte) solari avverranno alle 13:02:50 (13 ore, 2 minuti e 50 secondi), le 15:00:00 avverranno alle 16:02:50 e così via.

Occorre quindi segnare la posizione dell'ombra alle 8:02:50, alle 9:02:50 ecc. segnando accanto l'ora (quella solare) della misura (7, 8 ecc.).

Si otterrà una disposizione sul muro simile a quella di Figura 19.

Per alcune ore non sarà possibile segnare l'ombra, in quanto fuori dal quadrante. Ciò non ha importanza.

⁵ Ricordarsi inoltre dell'eventuale ora legale !

Occorre ora ripetere la stessa operazione in un diverso momento dell'anno. Supponendo che la prima sia stata fatta intorno al solstizio d'estate, ripetiamo il tutto intorno al solstizio d'inverno (21 dicembre).

Aggiungendo i nuovi riferimenti sul muro, otterremo la situazione di Figura 20.

Si noti che ora alcune ore per le quali non era stato possibile segnare l'ombra sono segnate nel disegno, in quanto il sole più basso sull'orizzonte ha fatto rientrare nel quadrante l'ombra dello stilo.

Se abbiamo fatto tutto correttamente, unendo con una linea retta le coppie di punti corrispondenti alle stesse ore e prolungando verso l'alto la linea, troveremo che tutte le linee convergono nel punto C (Figura 21).

Dato poi che tutte le linee devono incontrarsi in C, possiamo anche tracciare le linee per quelle ore di cui avevamo un solo punto, unendo quel punto con C (in figura le ore 9, 10 e 16).

Abbiamo così ottenuto tutte le linee orarie del nostro orologio solare⁶.

Se volessimo aggiungere le linee diurne, dovremmo allora eseguire le misure descritte esattamente nelle date dei solstizi (21 giugno e 21 dicembre) ed unire quindi tra di loro i punti ottenuti.

Per inserire inoltre la linea degli equinozi, essendo questa sempre retta, ci è sufficiente ad uno dei due equinozi (21 marzo o 23 settembre) segnare l'ombra in due momenti qualsiasi della giornata, abbastanza lontani tra loro, ed unire quindi i due punti con una retta (Figura 22).

Il nostro orologio solare è completo.

Resta da decidere se lasciare lo stilo che abbiamo usato fino ad ora, la cui ombra segna l'ora con la sola estremità, o se sostituirlo con uno stilo polare, che segna l'ora con tutta l'ombra, essendo questa sovrapposta alle linee orarie.

Lo stilo polare del nostro quadrante è semplicemente quello che si incastra nel muro nel punto C e che finisce con l'altra estremità nello stesso punto nello spazio in cui si trovava l'estremità dello stilo provvisorio.

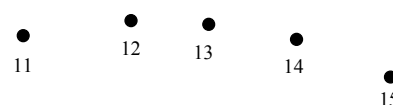


Figura 19 — Metodo empirico — passo 1

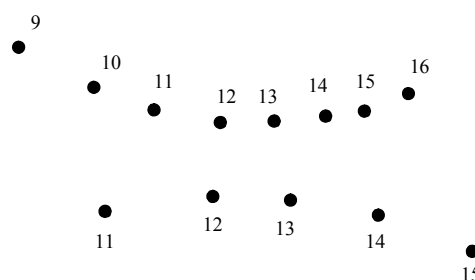


Figura 20 — Metodo empirico — passo 2

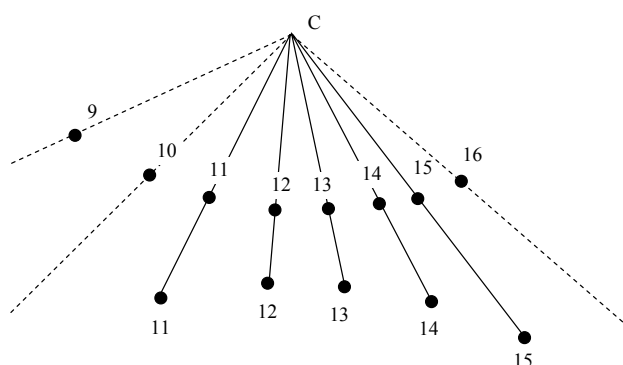


Figura 21 — Metodo empirico — passo 3

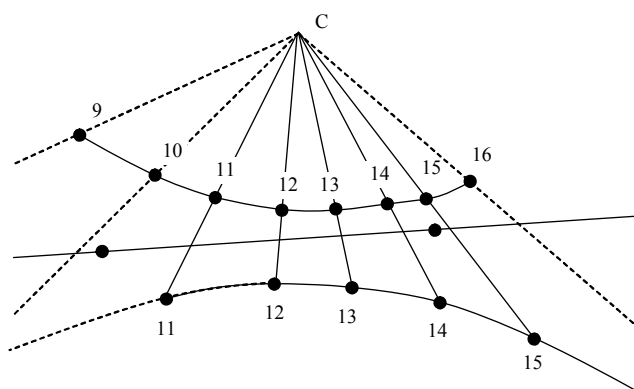


Figura 22 — Metodo empirico — passo 4

⁶ Se non avessimo corretto l'ora con l'EdT non avremmo ottenuto un unico punto C come intersezione tra le linee orarie. Infatti in tal caso i punti non appartenerebbero ad una linea oraria bensì sarebbero due punti qualsiasi della lemniscata corrispondente, i quali non sono necessariamente allineati e possono quindi portare a tracciare delle linee assolutamente sbagliate.

La Figura 23 illustra forse meglio il procedimento.

Coordinate geografiche del luogo

Il primo dato indispensabile per il progetto di un orologio solare (salvo che si usi il metodo empirico) è la conoscenza delle coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del luogo. Tale dato influisce tanto sul posizionamento dello stilo quanto sull'orientamento delle linee.

Per avere queste indicazioni è possibile seguire varie strade:

- Consultare l'Ufficio Tecnico del Comune, è possibile che vi sappiano rispondere.
- Consultare una mappa sufficientemente dettagliata della zona, ad esempio le cartine militari IGM 1:25000. Queste riportano le coordinate geografiche degli estremi del foglio, sulle quali è possibile interpolare per ottenere le coordinate del punto desiderato.
- Utilizzare il programma *Google Earth* che fornisce, insieme alla visualizzazione satellitare della zona cercata, anche le coordinate geografiche.
- Consultare un ricevitore GPS.

Qualunque sia il metodo, alla fine si avranno due angoli, normalmente espressi in gradi, primi d'arco (sessantesima parte di un grado) e secondi d'arco (sessantesima parte di un primo).

Ad esempio Castellamonte ha coordinate $45^{\circ} 22' 57''$ nord e $7^{\circ} 42' 48''$ est⁷.

Declinazione della parete

Per declinazione della parete si intende l'orientamento della parete stessa rispetto al sud (Figura 24).

Questo dato deve essere misurato con particolare cura, in quanto influisce pesantemente sul progetto (di nuovo, il metodo empirico non richiede questa informazione).

Il metodo più preciso, ma non l'unico, ritengo sia il seguente.

Si pone un filo a piombo di fronte alla parete e si misura, su una superficie orizzontale, l'angolo che l'ombra del filo forma rispetto al muro (Figura 25). Segnare inoltre la data e l'ora esatta della misurazione.

Confrontare quindi l'angolo alfa misurato con l'azimut solare all'istante della misurazione (ottenibile ad esempio con

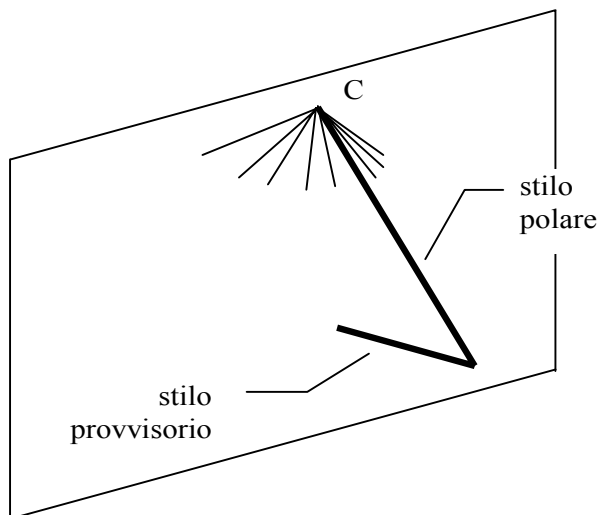


Figura 23 — Metodo empirico — passo 5

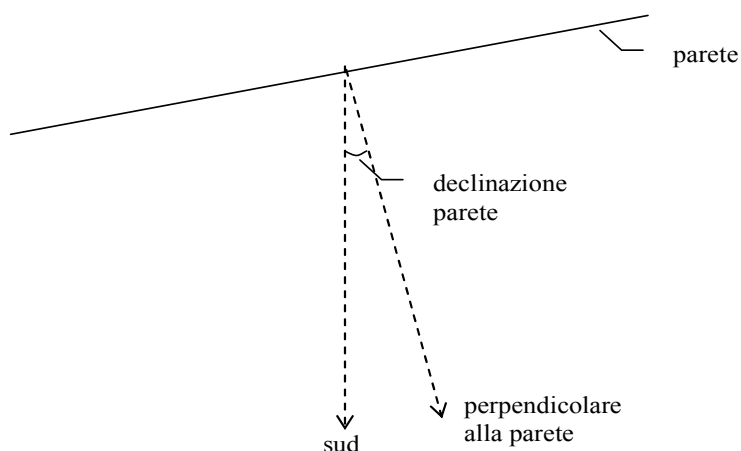


Figura 24 — Declinazione della parete

⁷ Da notare che i secondi, ed anche i primi, variano di molto all'interno di un territorio pur piccolo come quello di Castellamonte: l'errore comunque rientra all'interno delle tolleranze che si ottengono nella costruzione dell'orologio.

il programma *Dialist's Companion*, vedi [13]) ed ottenere così lo scostamento del muro rispetto al sud, ovvero la sua declinazione.

Il risultato è nuovamente un angolo, questa volta con segno (positivo per declinazione a ovest, negativo per declinazione a est).

Si supponga ad esempio di effettuare 3 misurazioni nella giornata del 19 settembre 2005 alle ore 10:27, 13:33 e 17:48 in una località posta a latitudine $45^{\circ} 22' 57''$ nord e longitudine $7^{\circ} 42' 48''$ est.

In corrispondenza delle tre misure si calcola l'azimut solare.

Se si utilizzano le formule matematiche occorre risalire dal Tempo Medio dell'Europa Centrale (TMEC) al tempo vero solare locale effettuando le seguenti operazioni:

- togliere 1 ora essendo in vigore l'ora legale
- sottrarre il valore della Equazione del Tempo (in questo caso negativa, quindi il sole è in anticipo rispetto al tempo medio)
- togliere l'errore di longitudine (la località dista $7^{\circ} 17' 12''$ cioè 7.29° dal meridiano di riferimento, corrispondenti a $4 \times 7.29 = 29.16$ minuti = 0:29:09 ore, questo numero deve essere sottratto in quanto la località è ad ovest del meridiano di riferimento, quindi il sole è in ritardo)

Alle 10:27 del TMEC si ha ad esempio che il tempo solare locale è pari a :

$$10:27:00 - 1:00:00 - (-0:06:11) - 0:29:09 = 9:04:02$$

In corrispondenza di questo tempo vero si calcola l'azimut solare⁸ che in questo caso vale -54.51° (rispetto al meridiano locale, ovvero rispetto al sud, quindi con valori negativi per sole mattutino o crescente e valori positivi per sole pomeridiano o decrescente).

In alternativa si può far fare tutti i conti al programma *Dialist's Companion*, facendo attenzione ad impostare correttamente le opzioni (latitudine, longitudine, fuso orario, ora legale, correzione longitudine), ed ottenere immediatamente il valore di azimut.

A questo punto si può calcolare la declinazione della parete come :

$$d = 90^{\circ} - \alpha + \text{azimut}$$

L'angolo α misurato alle 10:27 con il metodo descritto vale 12.5° , quindi la declinazione del muro vale :

$$90^{\circ} - 12.5^{\circ} + (-54.51^{\circ}) = 22.99^{\circ}$$

⁸ Per il calcolo dell'azimut occorre sapere il valore di declinazione solare il giorno della misura, lo si può ottenere da apposite tabelle o programmi.

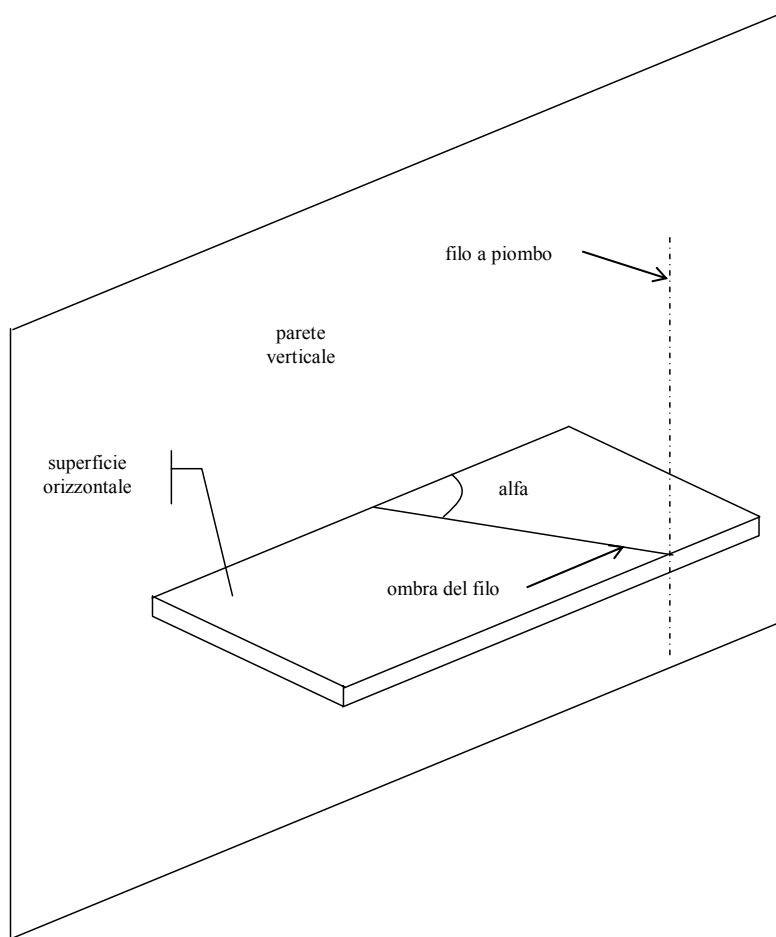


Figura 25 — Misura della declinazione della parete

Effettuate alcune misure in ore e/o giorni diversi e scartati eventualmente i risultati notevolmente diversi da tutti gli altri (e quindi probabilmente affetti da errori di misura non trascurabili), si effettua la media e si utilizza il risultato finale come declinazione della parete.

data	ora TMEC	equazione del tempo	ora vera locale	declinazione solare	azimut solare (rispetto al sud)	alfa	d
19/09/2005	10:27:00	- 0:06:11	9:04:02	1.38°	-54.51°	12.5°	22.99°
19/09/2005	13:33:00	- 0:06:14	12:10:05	1.33°	3.62°	69.3°	24.32°
19/09/2005	17:48:00	- 0:06:18	16:25:09	1.27°	73.53°	140.2°	23.33°

In questo caso la media fornisce 23.55° ovvero 23° 33'.

Ancora più semplice è misurare la posizione dell'ombra all'ora del mezzogiorno vero locale (quindi corretto con errore di longitudine ed EdT) per cui $azimut=0$: la declinazione della parete si ottiene direttamente come:

$$d = 90^\circ - \alpha$$

In alternativa a tutti questi calcoli si può utilizzare il mio programma [17] che fornisce direttamente il risultato a partire da coordinate geografiche, data e ora della misura e angolo α (vedi la figura 39).

Le foto di Figura 26 mostrano lo strumento che ho costruito per effettuare la misurazione della declinazione del muro secondo il metodo descritto.

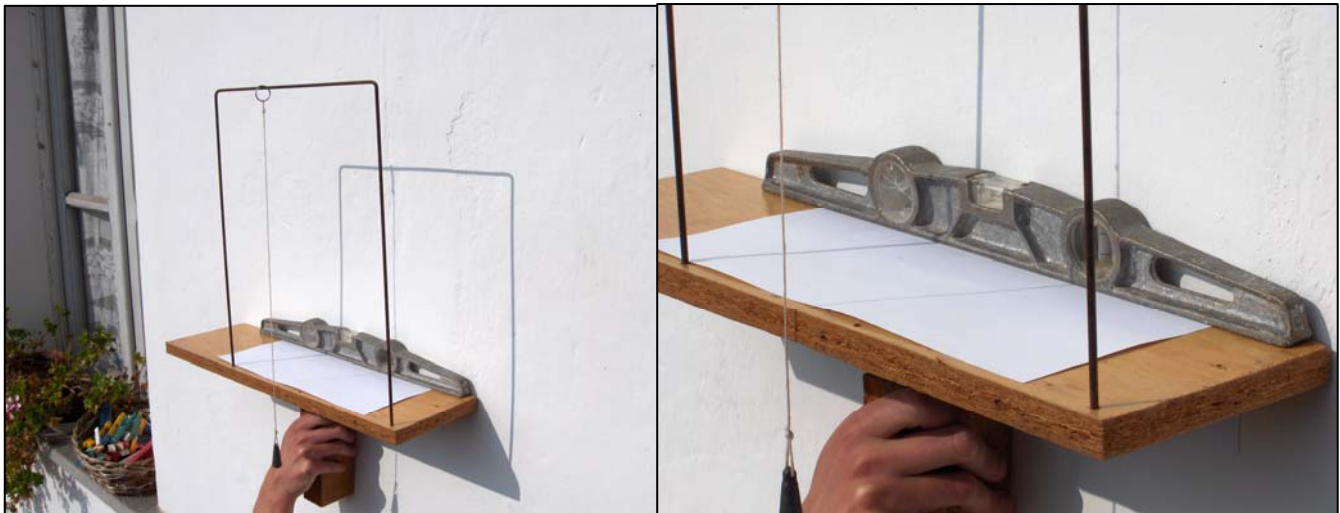


Figura 26 — Misura della declinazione

Si tratta di una squadra di legno che appoggiata al muro presenta una superficie a questo perpendicolare. Una livella a bolla mi permette di posizionarla in modo orizzontale. Ad un supporto di metallo è appeso il filo a piombo la cui ombra si proietta su un foglio di carta su cui traccio la linea dell'ombra e la linea del muro, da queste successivamente misuro l'angolo α e, con il mio programma, calcolo la declinazione della parete.

Posizionamento dello stilo

A questo punto, avendo a disposizione tutti i dati che servono (latitudine, longitudine e declinazione) è possibile definire la posizione dello stilo.

Definiamo anzitutto le grandezze in gioco (Figura 27).

Si definisce *sustilare* o *substilare* la proiezione ortogonale CM dello stilo sulla superficie del quadrante.

Si definisce *distanza sustilare* l'angolo HCM che la sustilare CM forma con la linea del meridiano locale CH.

Si definisce *altezza sustilare* l'angolo MCR che lo stilo CR forma rispetto alla sua proiezione CM sul quadrante.

Come sappiamo lo stilo polare deve essere parallelo all'asse terrestre.

Per un muro verticale perfettamente orientato a sud lo stilo giace su un piano verticale perpendicolare al muro (piano del meridiano locale) e forma con questo un angolo pari a $90^\circ - \text{latitudine}$ (vedi Figura 28).

Se il muro è diversamente orientato (cioè declinante) verso est o verso ovest, si immagina che lo stilo resti fermo sul piano del meridiano e che il muro ruoti verso est o verso ovest. Si hanno le due situazioni di Figura 29 e Figura 30.

L'angolo tra stilo e muro non è più quello indicato in Figura 28 e deve essere determinato in qualche modo in base a latitudine e declinazione del muro.

Riassumendo :

- per una parete esattamente esposta a sud si ha che la *sustilare* coincide con il meridiano locale, la *distanza sustilare* è quindi 0° e l'*altezza sustilare* vale $90^\circ - \text{lat}$ (Figura 28)
- per una parete declinante a est o ad ovest il punto M si trova rispettivamente a sinistra o a destra di H (Figura 29 e Figura 30)

Un primo metodo per il posizionamento dello stilo è ancora empirico. Non richiede la conoscenza della declinazione del muro, è semplice ma poco preciso.

Si costruisca il triangolo CHR su un pezzo di cartone o comunque di materiale sottile e rigido: l'angolo HCR vale $90^\circ - \text{lat}$, l'angolo CRH lat , l'angolo CHR 90° .

Si appoggi il lato CH del triangolo sulla verticale con il vertice C posizionato nel punto del futuro incastro dello stilo.

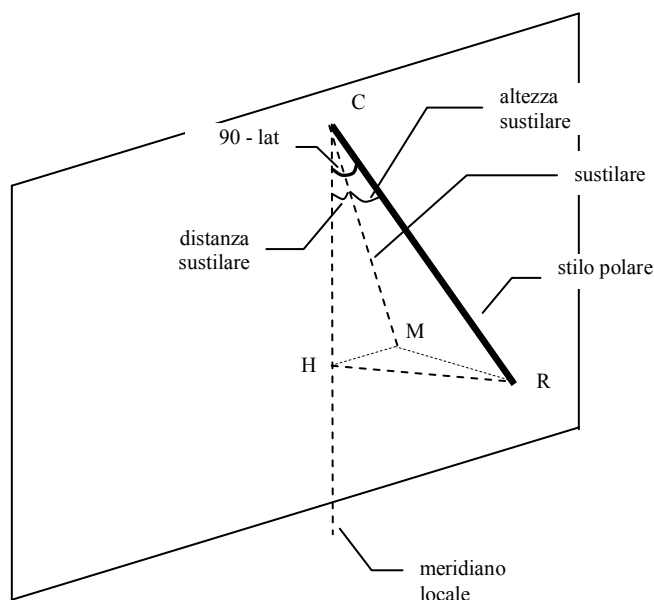


Figura 27 — Elementi del gnomone

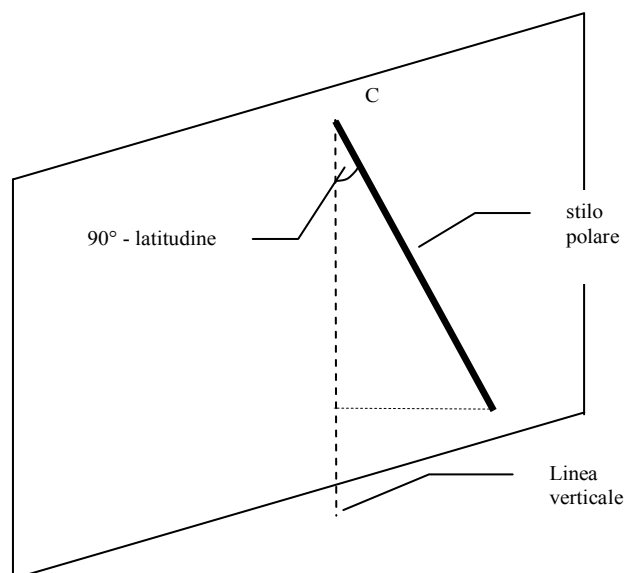


Figura 28 — Stilo su parete non declinante

All'ora del mezzogiorno vero locale (ore 12:00 corrette con l'errore di longitudine e con l'Equazione del Tempo) si ruoti il triangolo intorno a CH fino ad avere l'ombra del lato CR esattamente sulla verticale (meridiano locale). La posizione così trovata è tale che CR coincide con lo stilo polare⁹.

Un altro metodo è grafico, ovvero richiede di tracciare con riga e compasso delle linee sul muro in modo da ottenere graficamente il risultato ottenuto (si veda il capitolo *Metodo grafico*).

Un ulteriore metodo, secondo me il più preciso, richiede di eseguire alcuni calcoli trigonometrici o, ancor più semplicemente, utilizzare programmi di calcolo già disponibili. Si veda il capitolo *Metodo matematico*.

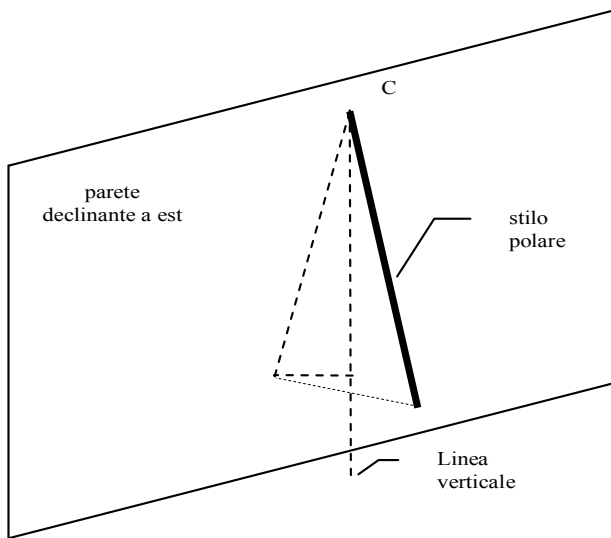


Figura 29 — Stilo su parete declinante ad est

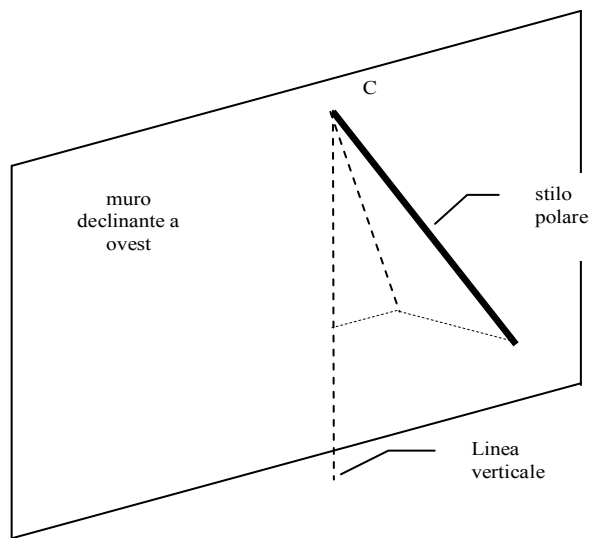


Figura 30 — Stilo su parete declinante ad ovest

⁹ Questo metodo, oltre che poco preciso, è applicabile solo per pareti non troppo declinanti. Infatti più aumenta la declinazione più aumenta la lunghezza dell'assostilo e più si allontana il punto C, fino ad arrivare al caso estremo di declinazione uguale a $\pm 90^\circ$ ove l'assostilo è parallelo alla parete e sia il punto di incastro C che la linea del meridiano locale si trovano a distanza infinita.

Nota sull'installazione dello stilo

L'installazione dello stilo sulla parete è un'operazione per nulla facile. Può essere utile a tale scopo utilizzare uno strumento simile a quello di Figura 31.

Si tratta di una tavoletta piana dotata di supporti che ne permettono il fissaggio alla parete, mantenendola perpendicolare alla parete stessa. Sulla tavoletta è poi presente un sistema per il fissaggio dello stilo, in questo caso due sbarrette dotate di viti e bulloni.

Dopo avere tracciato la sustilare e praticato il foro per murare lo stilo, si fissa il supporto alla parete mediante tasselli. I fori di fissaggio del supporto devono essere asolati in modo da poter fissare il supporto il più precisamente possibile sulla sustilare.

Si fissa quindi lo stilo al supporto e si misurano accuratamente tutti i parametri dello stilo (altezza sustilare, ortostilo, assostilo). Verificare inoltre la perpendicolarità della tavoletta alla parete, correggerla se necessario spessorando opportunamente i punti di appoggio.

Quando si è sicuri della posizione si può procedere a cementare lo stilo e chiudere il foro.

Al termine dell'operazione, smontato il supporto, conviene verificare la verticale CH e, se necessario, ritracciarla.



Figura 31 — Posizionamento e fissaggio dello stilo

Metodo con disco equatoriale

Questo metodo è di non molto facile realizzazione ma ha secondo me il vantaggio di chiarire ulteriormente il meccanismo di funzionamento dell'orologio solare, infatti viene simulato il percorso che i raggi solari compiono nel segnare con l'ombra l'ora durante il giorno.

In Figura 17 si è visto come con un orologio solare equatoriale si possa spiegare il funzionamento di un orologio solare su parete verticale.

Sfruttando questo concetto, una volta posizionato correttamente l'assostilo sul muro, è possibile tracciare le linee orarie e volendo anche le linee diurne senza ulteriori calcoli o complessi processi grafici.

È però necessario anzitutto costruire uno strumento come quello di Figura 32.

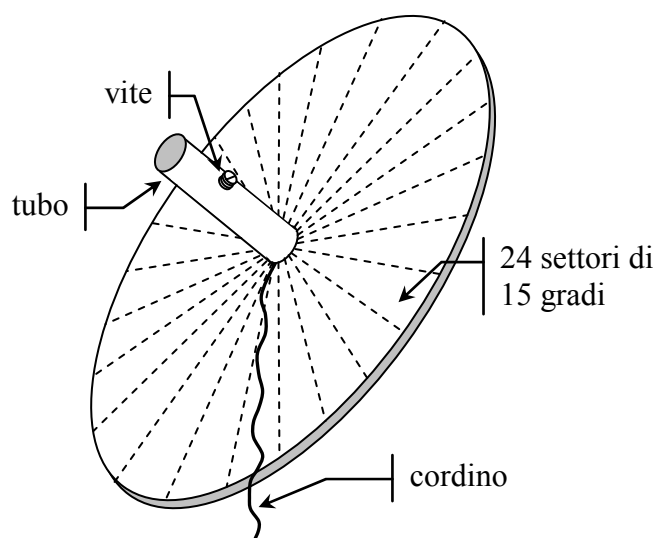


Figura 32 — Disco equatoriale ausiliario

Si tratta ancora di un disco, la cui superficie è divisa in 24 parti di 15° ognuna. Al centro del disco, anziché lo stilo perpendicolare come in un orologio equatoriale, viene posizionato un tubo perpendicolare con diametro interno sufficiente a farvi passare lo stilo che è stato fissato alla parete. Una vite consente di fissare il tubo sullo stilo nella posizione desiderata. Inoltre al tubo deve essere fissato un cordino che permetterà di ricavare la posizione delle linee orarie sulla parete.

Fissato correttamente l'assostilo alla parete, si infila il tubicino del disco equatoriale sullo stilo e si fissa quindi in uno dei seguenti modi:

1. Orologio che indica il tempo locale (senza correzione della longitudine - Figura 33)

Si tende il cordino in modo che resti parallelo al disco ed arrivi a toccare la linea verticale tracciata dal punto C (che è la linea oraria del mezzogiorno locale), si ruota il disco in modo che una delle linee tracciate sulla sua faccia coincida con il cordino e si stringe quindi la vite per fissare il disco allo stilo. La linea coincidente con il cordino è quella delle ore 12, in successione a destra e a sinistra si hanno le ore successive e precedenti.

In alternativa (ma mi sembra meno preciso) è possibile posizionare il disco con l'aiuto di una livella in modo tale che la linea che unisce le ore 6 con le ore 18 sia orizzontale.

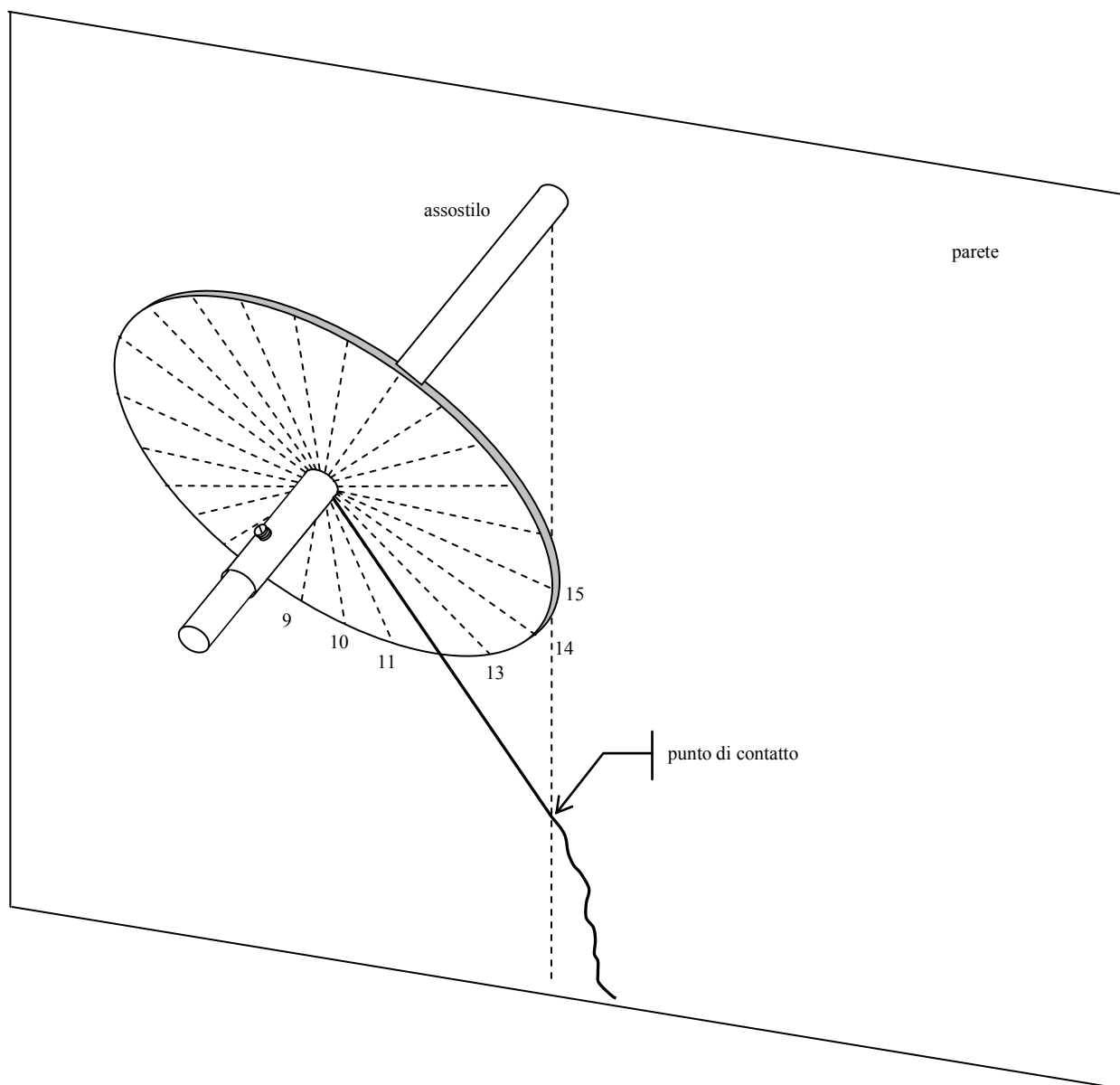


Figura 33 — Posizionamento del disco equatoriale ausiliario (senza correzione longitudine)

2. Orologio che indica il tempo del fuso orario (con correzione della longitudine - Figura 34)

Occorre anzitutto tracciare in un settore del disco lo scostamento che deriva dalla longitudine del luogo: calcolata la differenza in gradi tra la longitudine locale e quella del fuso orario, la si riporta su un settore del disco come indicato in Figura 34.

Quindi si procede come al punto 1. ma in questo caso il cordino dovrà coincidere con la linea appena tracciata, mentre sul muro il cordino dovrà sempre toccare la linea verticale da C (che è ancora il mezzogiorno locale ma non quello del fuso, quest'ultimo coincide con la successiva linea da 15°).

Quando si traccia sul disco la linea corrispondente alla differenza di longitudine in gradi, per sapere se questa debba essere disposta a sinistra o a destra della linea da 15°, si tenga presente che :

- per una località ad ovest del meridiano di riferimento del fuso (è il caso ad esempio di Torino) sulla parete il mezzogiorno del fuso rimane a sinistra della linea verticale (mezzogiorno locale)
- per una località ad est del meridiano di riferimento del fuso (è il caso ad esempio di Bari) sulla parete il mezzogiorno del fuso rimane a destra della linea verticale (mezzogiorno locale)

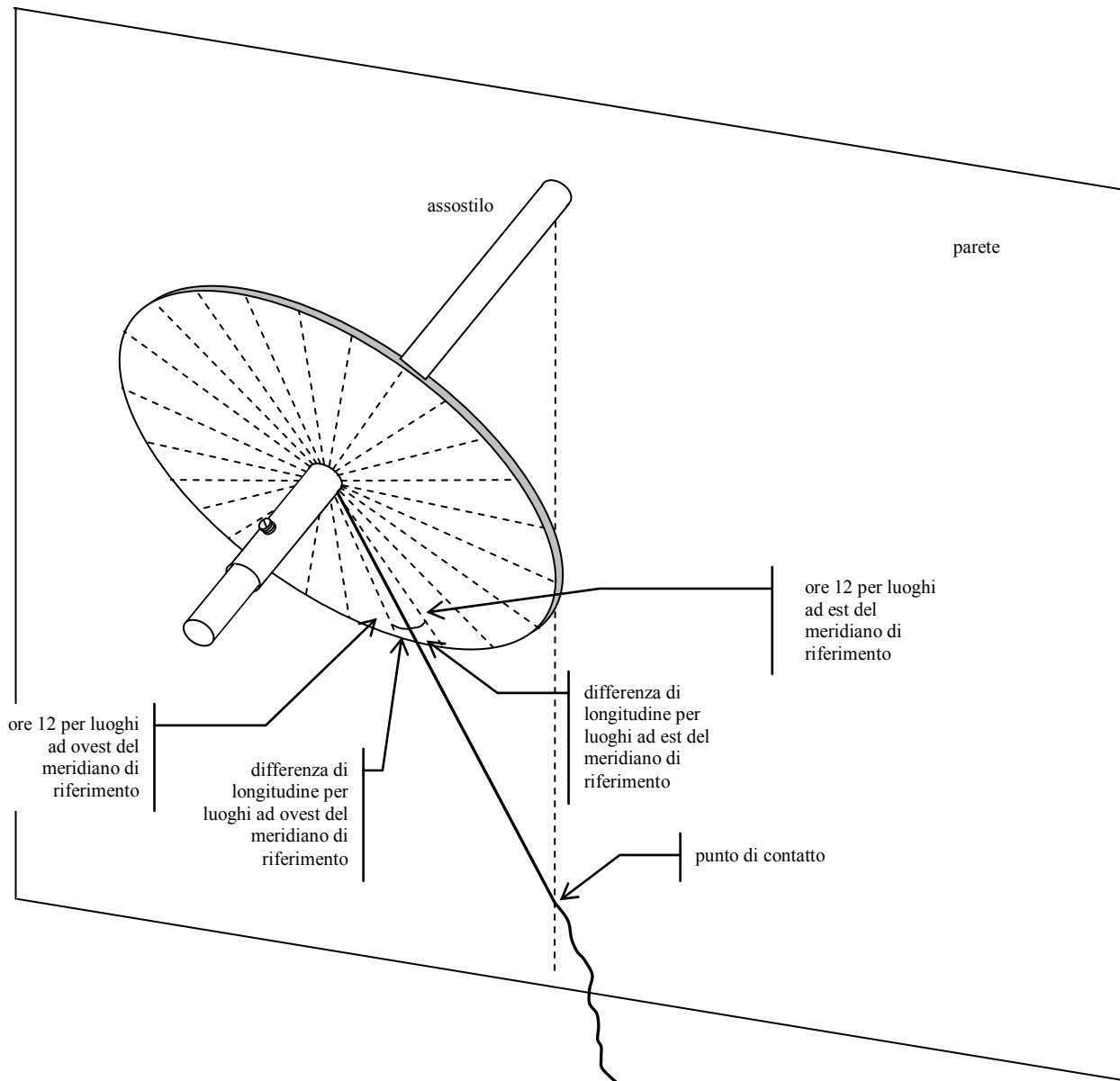


Figura 34 — Posizionamento del disco equatoriale ausiliario (con correzione longitudine)

Ora che il disco è saldamente fissato allo stilo si procede, in entrambi i casi, a spostare il cordino di volta in volta sulle linee a 15° tracciate sulla sua superficie, mantenendolo sempre parallelo ed aderente al disco, e segnando quindi sulla parete il punto di incontro cordino-muro.

Questi punti saranno quelli che, uniti al centro C, ci forniranno le linee orarie.

Nel caso 1. avremo la linea delle 12 coincidente con la verticale da C (che è il meridiano locale).

Nel caso 2. avremo il mezzogiorno a sinistra della verticale per i luoghi ad ovest del meridiano del fuso, a destra per quelli ad est del meridiano del fuso.

In Figura 35 è indicata la situazione per una località ad ovest del meridiano del fuso (es. Torino).

In pratica quello che stiamo facendo è simulare con il cordino il percorso dei raggi solari agli equinozi (raggi paralleli all'equatore terrestre) e cercare il punto in cui questi segnano sul muro l'ombra dello stilo. È necessario quindi che il cordino possa ruotare intorno al tubo centrale del disco, pur mantenendo sempre lo stesso punto di ancoraggio rispetto allo stilo, in modo che, quando teso, esso tracci una retta che passa per il centro (sempre lo stesso) dello stilo.

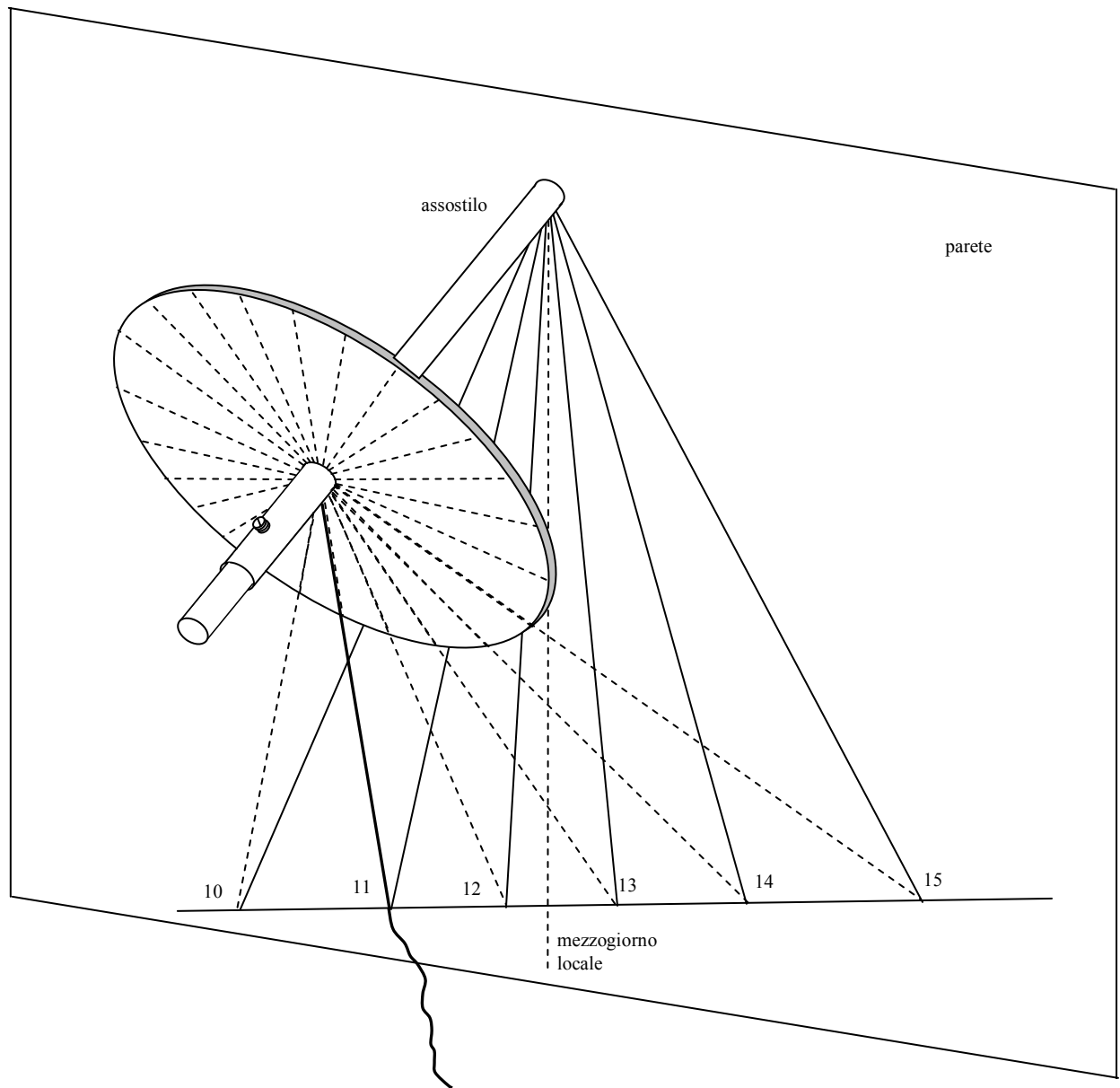


Figura 35 — Tracciamento delle linee orarie con disco equatoriale ausiliario

Si noti inoltre che i punti tracciati sono quelli toccati agli equinozi dall'ombra del punto dello stilo a cui abbiamo fissato il cordino, quindi se questo è il punto che ci segnerà le stagioni abbiamo anche ottenuto la linea diurna degli equinozi. Dovendo questa essere una linea retta, dovremmo trovarci tutti i punti segnati sulla parete allineati su una retta.

Volendo poi tracciare anche le linee diurne dei solstizi, è necessario costruire un nuovo attrezzo, in modo che il cordino teso possa simulare anche i raggi di sole inclinati di $\pm 23^\circ 26'$ rispetto all'equatore terrestre (e quindi rispetto al nostro disco).

In pratica si tratta ancora di un tubo da fissare sullo stilo, al quale è connesso un cordino ed un indicatore graduato che permette di inclinare il cordino rispetto al disco equatoriale della quantità di gradi desiderata, in particolare di $\pm 23.5^\circ$ (Figura 36).

Per ogni linea oraria tracciata, si posiziona lo strumento in modo tale che il cordino, mantenuto teso e parallelo al piano dello strumento, tocchi la linea stessa. Inclinando il cordino nelle tre posizioni indicate si ottiene l'intersezione della linea oraria con le tre linee diurne (solstiziali ed equinoziali). Il punto che indicherà sul quadrante la stagione è il punto di ancoraggio del cordino allo stilo.

È importante infine osservare che questo metodo funziona per qualunque parete piana, anche non verticale, purché lo stilo sia stato correttamente posizionato. È così possibile in modo abbastanza semplice disegnare un orologio solare su una superficie piana comunque orientata.

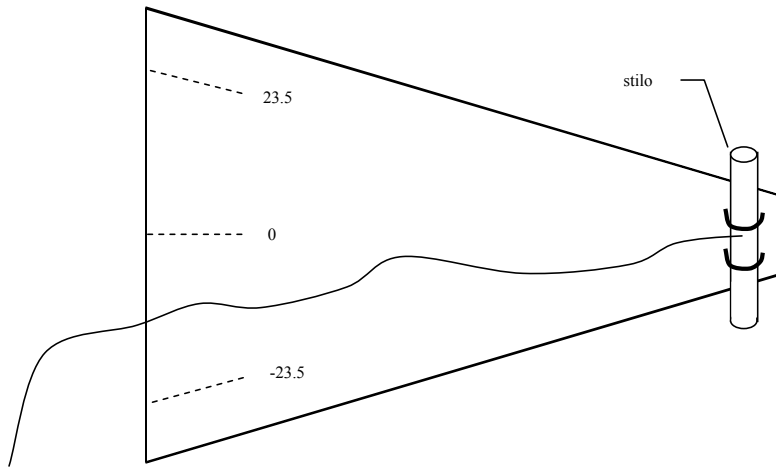


Figura 36 — Strumento per il tracciamento delle linee diurne

Metodo grafico

Questo metodo soffre del potenziale accumulo di errori che possono facilmente essere commessi durante il lungo processo di disegnazione.

Peraltro il disegno risultante ha un fascino particolare e sarebbe degno di essere lasciato sul muro anche ad orologio terminato.

Si inizia con il calcolo del posizionamento dello stilo. Come abbiamo visto, per una parete esposta perfettamente a sud questo si troverebbe su un piano verticale perpendicolare alla parete e formerebbe con questa un angolo pari a 90° - *latitudine*. Per una parete declinante occorre invece calcolare distanza ed altezza sustilare.

Il processo consiste in pratica nel rovesciamento dei triangoli CHR e HMR di Figura 27 sul piano del quadrante.

Si inizia (Figura 37) con una linea orizzontale AB posta al di sotto di C, centro delle linee orarie e punto di fissaggio dell'assostilo.

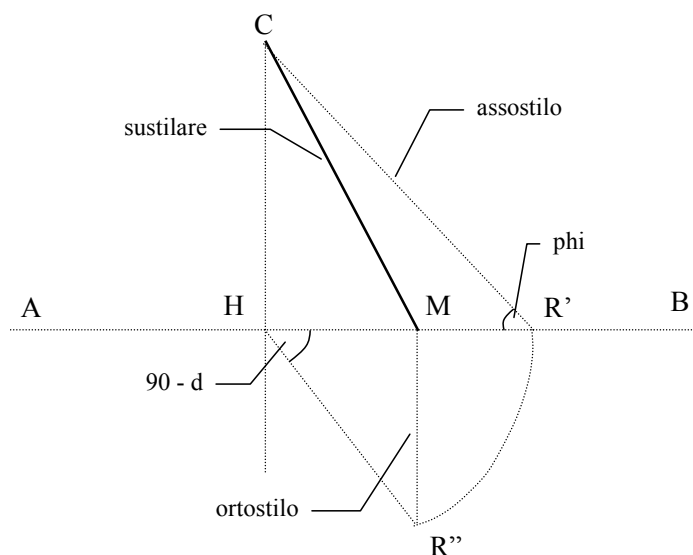


Figura 37 — Ricerca grafica di distanza ed altezza sustilare

Si traccia la linea CR' tale che l'angolo HR'C sia uguale alla latitudine ϕ del luogo. Il segmento CR' corrisponde alla lunghezza dello stilo. R' è a destra di C per declinazioni a ponente, a sinistra di C per declinazioni a oriente.

Da H si traccia la linea HR'' tale che l'angolo R''HR' sia uguale al complemento della declinazione del muro, cioè $90^\circ - d$.

Da H si traccia un arco di cerchio con raggio HR' che incrocerà HR'' in R'' . Da R'' si traccia la perpendicolare ad AB individuando così il punto M.

La retta CM è la sustilare cercata, mentre R''M corrisponde alla lunghezza dell'ortostilo.

Il triangolo gnomonico sarà quindi composto dai lati CR' (assostilo), CM (sustilare) e RM (ortostilo).

Resta ora da tracciare le linee orarie.

Il processo assomiglia molto a quanto visto per il metodo con equatoriale, in effetti si tratta di proiettare sul piano del quadrante la equatoriale correttamente disposta e da questa derivare le linee orarie.

Questo procedimento può essere trovato nei riferimenti in appendice, in particolare [1] e [7].

Anzitutto ribaltiamo sul piano il triangolo CMR di fig. 27: dal punto M della sustilare CM trovata in fig. 37 si traccia la perpendicolare MR''' (Figura 38) e con centro nello stesso punto M si traccia l'arco di cerchio di raggio MR'' fino ad incontrare la retta MR''' in R''' . Il triangolo CMR''' è il triangolo CMR di fig. 27.

Si traccia quindi da R''' la perpendicolare a CR''' fino ad incontrare la sustilare CM in E ; da questo punto E si traccia la perpendicolare ST alla sustilare CM . Questa retta è la equinoziale e corrisponde alla linea orizzontale di fig. 35.

Si deve ora ribaltare finalmente l'equatoriale sul piano del quadrante: con centro in E si traccia l'arco di cerchio con raggio ER''' fino ad incontrare la sustilare in O. Da questo si traccia un cerchio di raggio arbitrario. Individuato sulla verticale CH il punto d di intersezione con la ST, si traccia la retta dO. Si divide quindi la circonferenza in spicchi di 15° ognuno partendo dalla retta dO.

Prolungando i raggi così trovati fino ad intersecare la retta ST, si trovano i punti c, e, f ecc. e da questi si tracciano le linee orarie Cc, Cd ... Cm. La retta Cd corrisponde alle ore 12 locali.

Dividendo il cerchio in spicchi di 7.5° si possono tracciare le linee alle mezz'ore.

Se si vuole che l'orologio segni il tempo del fuso orario di riferimento anziché l'ora vera locale, si fa corrispondere la retta Od , invece che a 0° , all'errore in gradi tra la località ed il meridiano di riferimento (esattamente come in Figura 34). In tal modo tutti i raggi del cerchio ruotano di questo valore angolare e di conseguenza si spostano i punti c , d ecc. Ovviamente in tal caso la linea Cd corrisponde ancora alle ore 12 locali ma non alle 12 del fuso di riferimento.

Per quadranti fortemente declinanti il metodo descritto non funziona (il punto C diventa molto lontano) e deve essere modificato opportunamente (vedi rif. [1]).

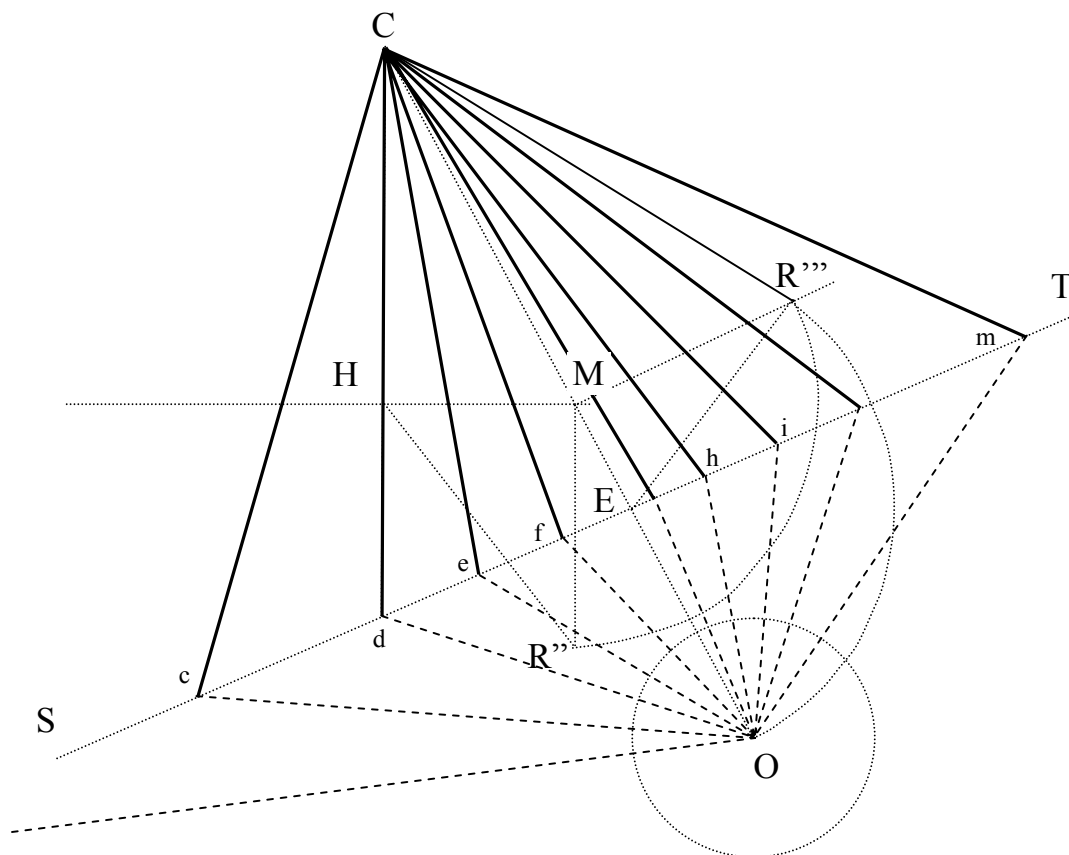


Figura 38 — Tracciamento grafico delle linee orarie

Metodo matematico

È il metodo più preciso per il tracciamento sul quadrante delle linee che compongono l'orologio solare ma è anche quello che meno permette la comprensione del suo funzionamento.

Applicando formule trigonometriche (vedere i rif. [1] e [12]) ed avendo a disposizione i valori di latitudine e longitudine del luogo e declinazione della parete, è possibile calcolare la posizione delle linee orarie e delle linee diurne.

Se una volta i calcoli potevano essere lunghi e laboriosi, oggi, con un PC ed un foglio elettronico a disposizione, diventa tutto molto più facile e veloce.

Per chi comunque non vuole o non sa applicare direttamente le formule, esistono numerosi programmi di calcolo anche freeware (vedere rif. [17] [19] e [20]) che non solo effettuano tutti i calcoli, ma sovente offrono anche una presentazione grafica del risultato, molto utile per avere una idea preliminare della forma che il quadrante assumerà e determinarne quindi l'ingombro sulla parete.

Sul mio sito, all'indirizzo <http://digilander.libero.it/orologi.solari/download/download.html>, è disponibile gratuitamente un programma che ho chiamato, con molta fantasia, **orologi solari** che permette il progetto di:

- orologi orizzontali
- orologi verticali declinanti
- orologi equatoriali
- orologi polari
- orologi analemmatici.

L'orologio può indicare l'ora locale o quella di un qualsiasi fuso orario.

Sul quadrante si possono tracciare le ore francesi, italiane, babilonesi e temporali.

E' inoltre possibile tracciare la lemniscata sul mezzogiorno o su tutte le linee.

Contiene inoltre alcuni strumenti utili che sono raramente disponibili in altri programmi:

- calcolo della declinazione della parete
- calcolo della illuminazione della parete nel corso dell'anno
- simulazione dell'ombra nel corso della giornata e durante l'anno

Un help in linea, oltre ad un help contestuale, aiutano nella comprensione e nell'uso del programma.

Il programma di setup installa inoltre uno screen saver: dopo aver progettato il vostro orologio potete utilizzarlo per visualizzare in tempo reale la posizione dell'ombra sul vostro quadrante (ovviamente solo in condizioni di illuminazione, quindi con sole sopra l'orizzonte e quadrante illuminato).

Le immagini alle pagine seguenti illustrano alcune delle caratteristiche del programma.

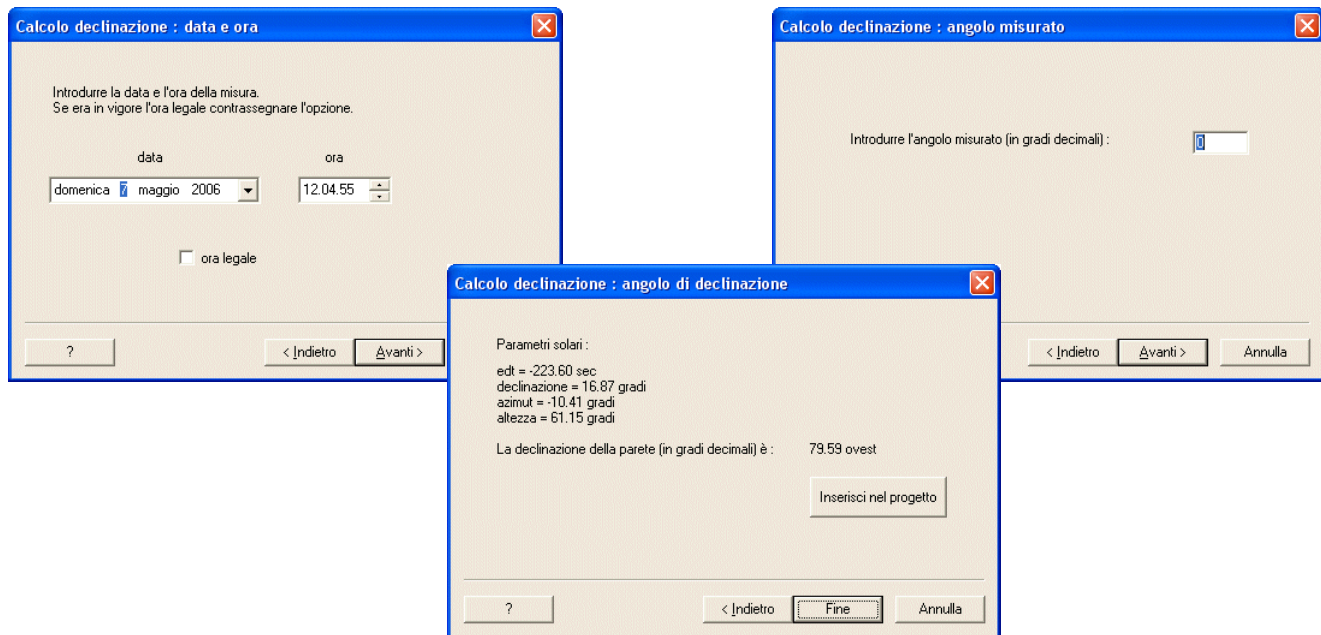


Figura 39 — Calcolo della declinazione della parete

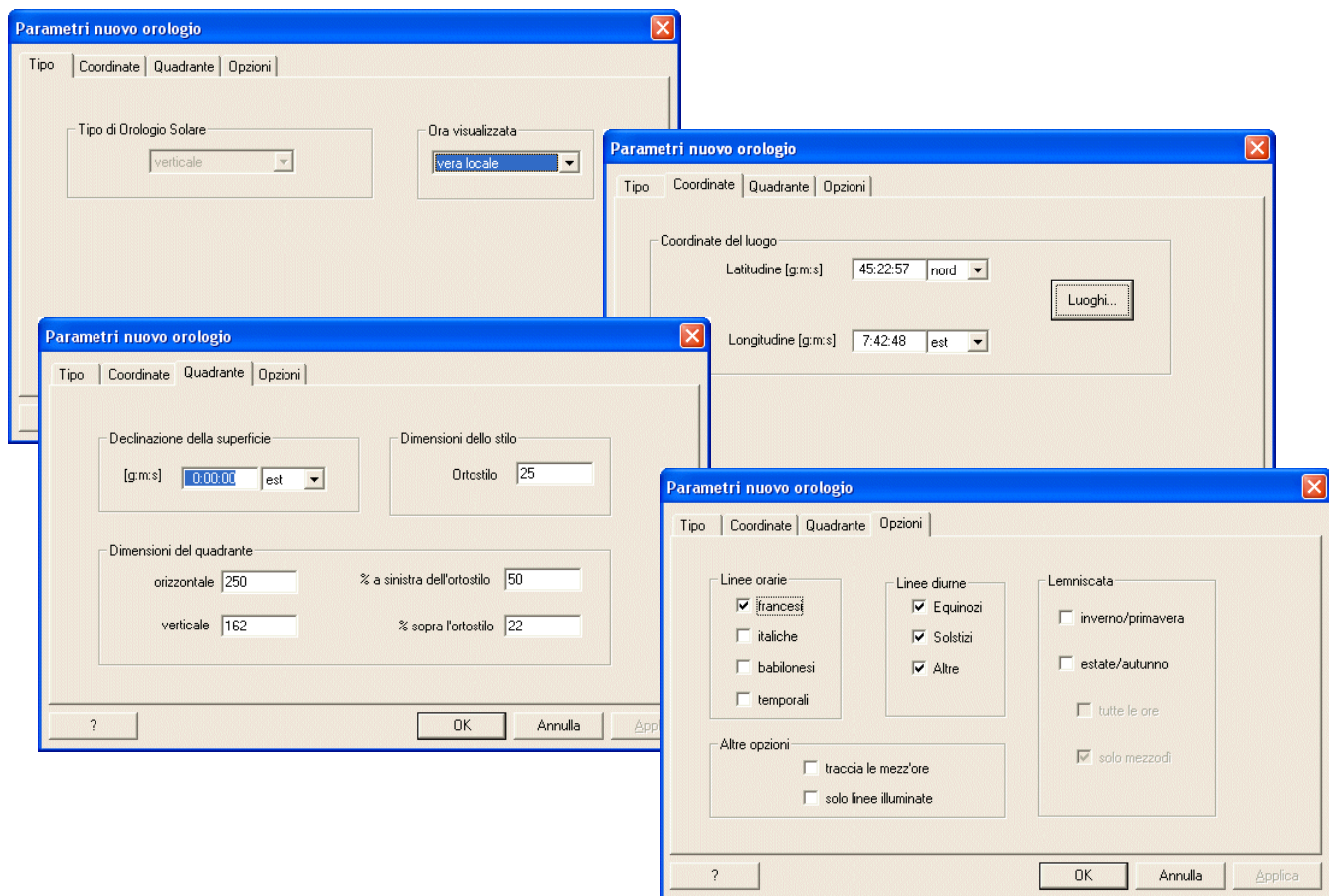


Figura 40 — Impostazione dei parametri dell'orologio

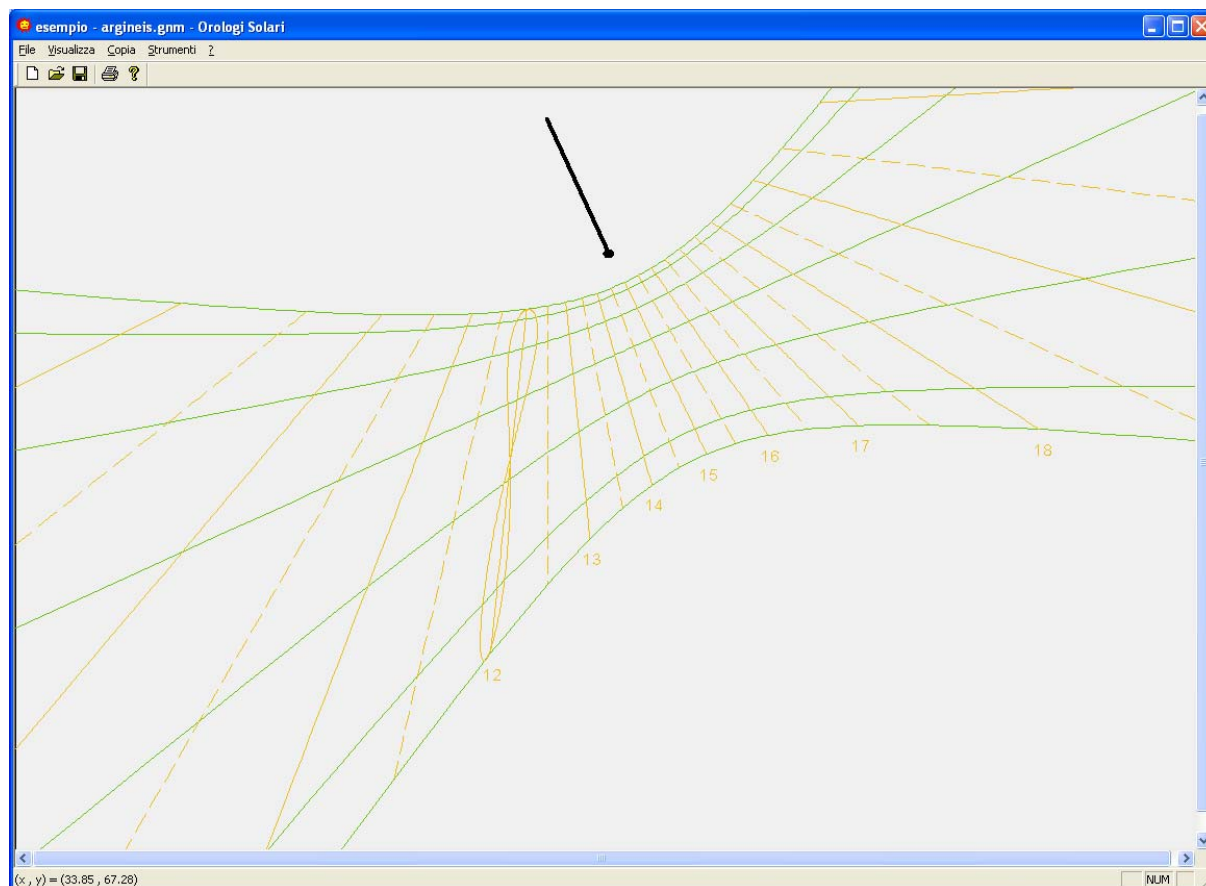


Figura 41 — Visualizzazione del quadrante

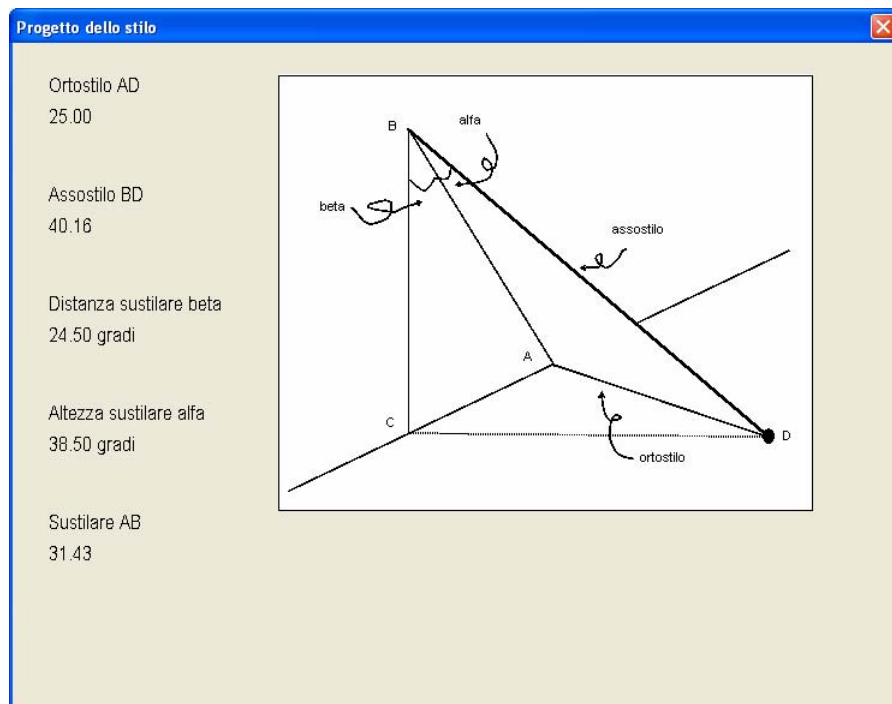


Figura 42 — Visualizzazione delle dimensioni dello stilo

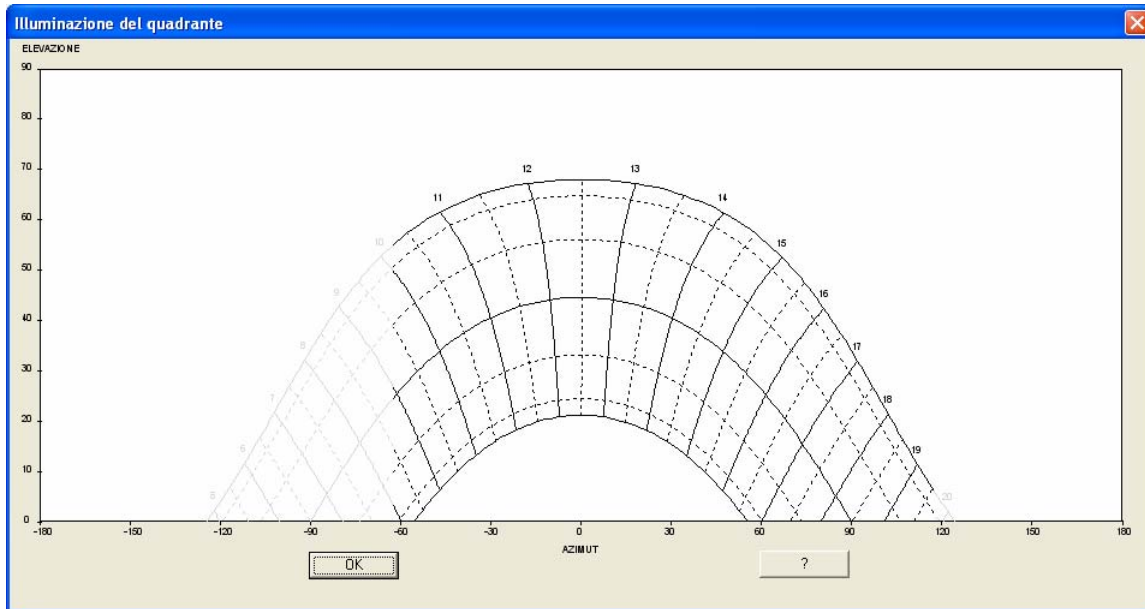


Figura 43 — Calcolo delle condizioni di illuminazione

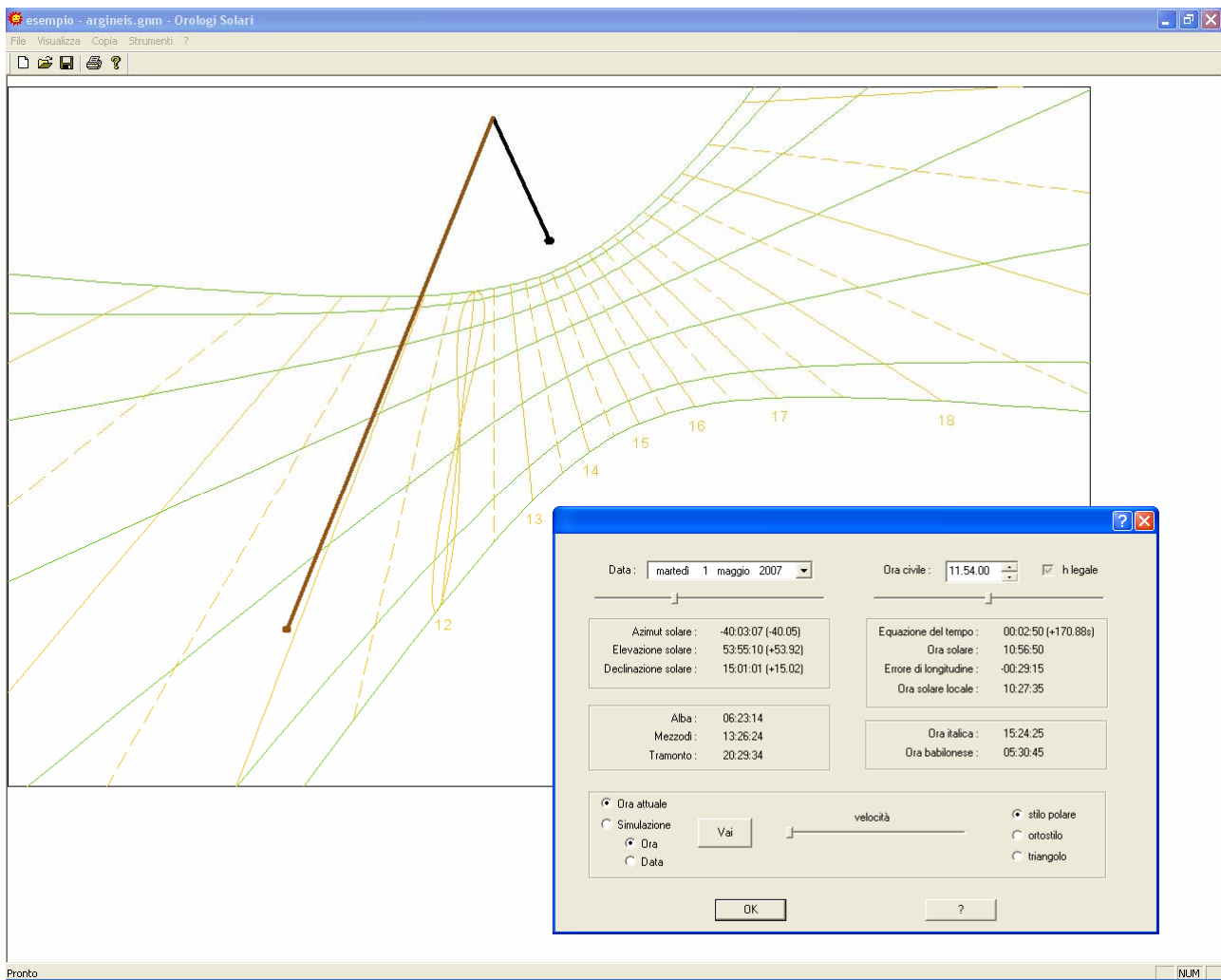


Figura 44 — Simulazione dell'ombra

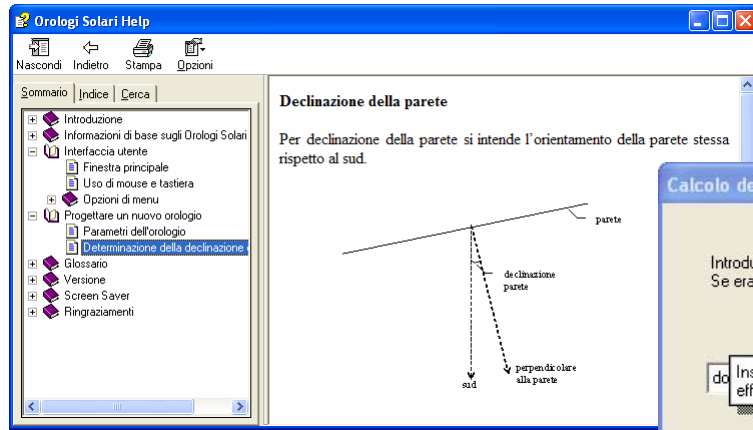


Figura 45 — Help in linea e help contestuale



Linee Orarie Francesi

?

✕

Francesi		21-dic		21-gen/21-nov			21-feb/21-ott			
ora	angolo	distanza	x	y	distanza	x	y	distanza	x	y
0:00										
0:30										
1:00										
1:30										
2:00										
2:30										
3:00										
3:30										
4:00										
4:30										
5:00										
5:30										
6:00										
6:30										
7:00										
7:30										
8:00	-86.62	299.9	-312.4	-10.9	1572.8	-584.9	15.2	8:00	-387.5	-14.6
8:30	-75.11	134.3	-142.8	15.9	172.3	-179.5	15.7	8:30	-157.2	6.2
9:00	-63.12	86.2	-90.0	10.4	100.6	-102.8	16.9	9:00	-95.8	10.9
9:30	-51.25	65.0	-63.7	12.1	172.7	-69.7	16.9	9:30	-66.8	12.6
10:00	-40.08	54.0	-47.8	12.7	158.9	-51.0	16.5	10:00	-49.7	13.2
10:30	-29.95	47.8	-36.9	12.8	151.4	-38.7	15.9	10:30	-38.2	13.2
11:00	-20.97	44.1	-28.8	12.6	146.9	-29.8	15.2	11:00	-29.8	13.0
11:30	-13.07	41.8	-22.5	12.1	144.2	-23.0	14.5	11:30	-23.2	12.5
12:00	-6.09	40.4	-17.3	11.6	142.5	-17.5	13.7	12:00	-17.9	11.9
12:30	0.15	39.5	-12.9	10.9	141.4	-12.9	12.8	12:30	-13.4	11.2
13:00	5.81	38.9	-9.1	10.1	140.7	-8.9	11.9	13:00	-9.5	10.4
13:30	11.05	38.5	-5.6	9.2	140.2	-5.3	10.8	13:30	-6.0	9.5
14:00	15.99	38.3	-2.5	8.2	139.9	-2.0	9.8	14:00	-2.8	8.6
14:30	20.74	38.2	0.5	7.1	139.8	1.0	8.6	14:30	0.2	7.4
15:00	25.42	38.2	3.3	5.9	139.7	4.0	7.3	15:00	3.1	6.2
15:30	30.12	38.2	6.1	4.5	139.8	6.9	5.8	15:30	5.9	4.8
16:00	34.93	38.4	8.9	2.9	140.0	9.9	4.2	16:00	8.8	3.2
16:30	39.98	38.7	11.8	1.0	140.4	12.9	2.3	16:30	11.6	1.4
17:00	45.36	39.1	14.8	-1.1	140.9	16.1	0.1	17:00	14.6	-0.7
17:30	51.24	39.8	18.0	-3.7	141.8	19.5	-2.4	17:30	17.8	-3.2
18:00	57.75	40.9	21.5	-6.8	143.1	23.4	-5.6	18:00	21.4	-6.2
18:30	65.07	42.6	25.6	-10.6	145.1	27.9	-9.6	18:30	25.4	-10.0
19:00	73.38	45.3	30.4	-15.6	148.4	33.4	-14.8	19:00	30.2	-14.9
19:30	82.81	49.8	36.4	-22.4	153.9	40.4	-21.9	19:30	36.2	-21.4
20:00	93.38	57.6	44.4	-32.0	163.3	50.2	-32.3	20:00	44.1	-30.7
20:30	104.89	71.7	56.2	-47.0	181.2	65.5	-49.5	20:30	55.7	-45.2
21:00	116.88	100.2	76.4	-73.9	120.2	94.1	-82.9	21:00	75.4	-70.8
21:30	128.75	172.6	121.6	-136.6	239.8	174.0	-178.7	21:30	118.6	-129.4
22:00								22:00	315.8	-403.1
22:30								22:30		
23:00								23:00		
23:30								23:30		
24:00								24:00		

Tabella delle Lemniscata

?

✕

2:00										
2:30										
3:00										
3:30										
4:00										
4:30										
5:00										
5:30										
6:00										
6:30										
7:00										
7:30										
8:00	-387.5	-14.6	-658.7	-21.5	-4425.4	-73.5	8:00	-249.1	15.7	
8:30	-157.2	6.2	-189.0	8.6	-124.2	17.4	8:30	-80.1	17.5	
9:00	-95.8	10.9	-107.1	13.0	-153.6	26.8	9:00	-46.1	19.8	
9:30	-66.8	12.6	-72.4	14.3	-91.4	23.3	9:30	-34.8	18.5	
10:00	-49.7	13.2	-53.0	14.6	-62.8	21.3	10:00	-26.6	17.3	
10:30	-38.2	13.2	-40.3	14.4	-42.8	16.4	10:30	-20.2	16.2	
11:00	-29.8	13.0	-31.2	14.0	-32.9	15.7	11:00	-15.2	15.2	
11:30	-23.2	12.5	-24.3	13.5	-25.4	15.0	11:30	-10.6	14.1	
12:00	-17.9	11.9	-18.7	12.8	-19.4	14.2	12:00	-6.6	13.0	
12:30	-13.4	11.2	-14.0	12.0	-14.5	13.3	12:30	-3.1	11.8	
13:00	-9.5	10.4	-9.9	11.2	-10.3	12.4	13:00	0.2	10.6	
13:30	-6.0	9.5	-6.3	10.3	-6.6	11.4	13:30	3.0	9.3	
14:00	-2.8	8.6	-3.1	9.3	-3.2	10.3	14:00	5.9	8.9	
14:30	0.2	7.4	0.0	8.1	-0.0	9.2	14:30	8.8	8.7	
15:00	3.1	6.2	3.0	6.9	3.0	7.9	15:00	11.6	8.2	
15:30	5.9	4.8	5.8	5.5	5.9	6.5	15:30	14.6	7.9	
16:00	8.8	3.2	8.7	4.0	8.9	4.9	16:00	17.8	7.4	
16:30	11.6	1.4	11.6	2.2	11.9	3.2	16:30	21.4	6.2	
17:00	14.6	-0.7	14.6	0.1	15.0	1.1	17:00	25.4	5.0	
17:30	17.8	-3.2	17.9	-2.4	18.4	-1.3	17:30	30.2	3.8	
18:00	21.4	-6.2	21.5	-5.3	22.1	-4.3	18:00	36.2	2.4	
18:30	25.4	-10.0	25.6	-9.0	26.4	-7.9	18:30	44.1	1.0	
19:00	30.2	-14.9	30.5	-13.8	31.5	-12.6	19:00	55.7	-0.7	
19:30	36.2	-21.4	36.6	-20.2	37.9	-18.9	19:30	76.9	-6.8	
20:00	44.1	-30.7	44.7	-29.2	46.7	-28.0	20:00	118.6	-129.4	
20:30	55.7	-45.2	56.6	-43.3	59.7	-42.2	20:30	315.8	-403.1	
21:00	75.4	-70.8	76.9	-68.4	82.5	-68.2	21:00			
21:30	118.6	-129.4	122.0	-126.0	135.9	-130.9	21:30			
22:00							22:00			
22:30							22:30			
23:00							23:00			
23:30							23:30			
24:00							24:00			

Figura 46 — Visualizzazione dei dati di progetto

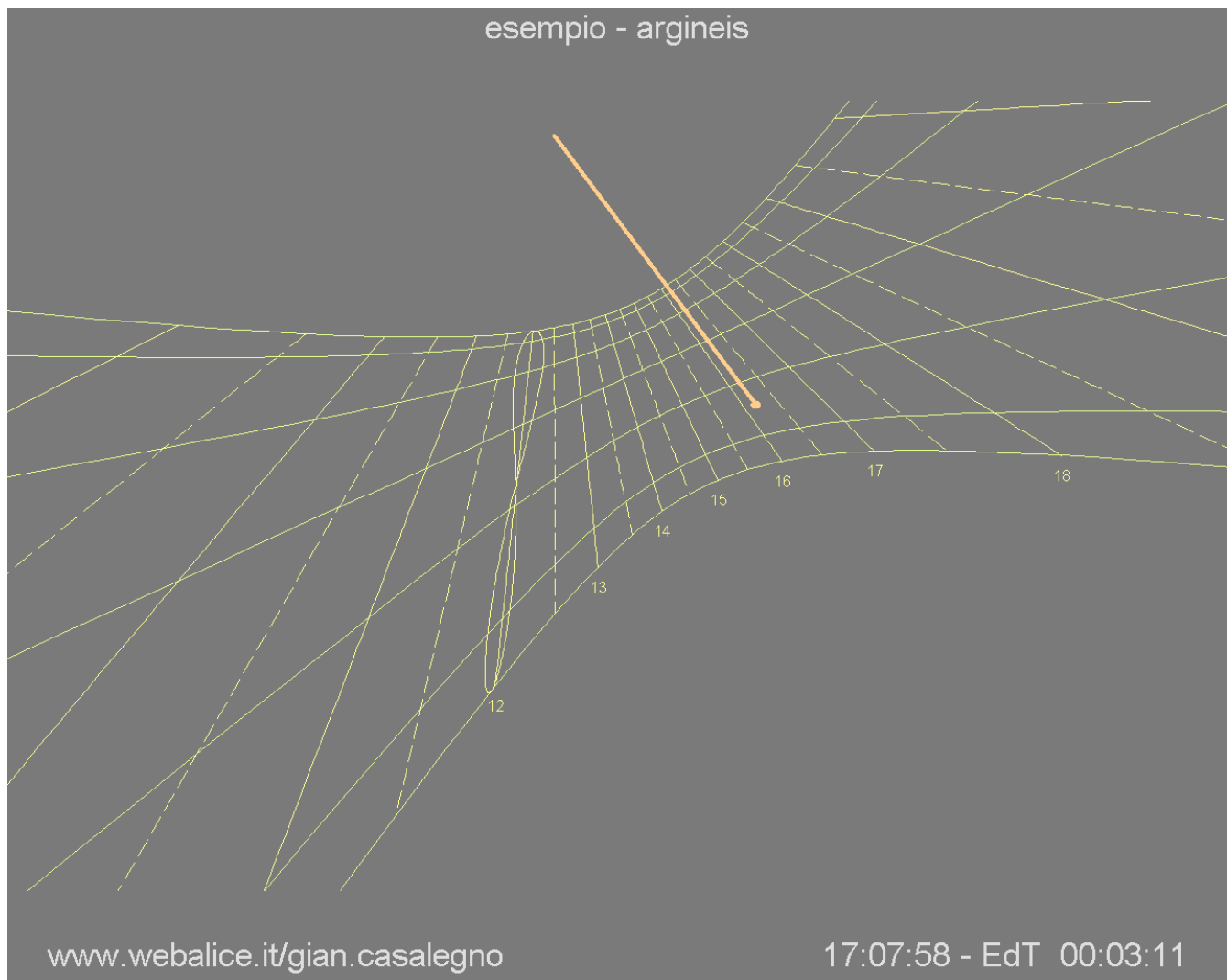


Figura 47 — Screen saver

RIFERIMENTI

Libri

- [1] René Rohr, “Meridiane”, Ulisse Edizioni 1988
Un libro veramente completo, purtroppo l’edizione italiana è esaurita.
Si trova quella anglosassone:
René Rohr, “SUNDIALS History, Theory and Practice”, Dover Publications 1996
- [2] Enrico del Favero, “Meridiane – Tecniche di Lettura Progettazione e Costruzione”, De Vecchi Editore 1999
Bello e pratico.
- [3] Linda Perina e Renzo Zanoni, “Meridiane – Le Tecniche”, Demetra s.r.l. 1996
Ancora sulle tecniche di costruzione
- [4] Linda Perina e Renzo Zanoni, “Meridiane Antiche e Moderne”, Demetra s.r.l. 1996
Tutte immagini, da ammirare e da cui prendere spunto.
- [5] Jean Meeus, Astronomical Algorithms, Willmann-Bell Inc. 1998
Le formule precise (ma non troppo semplici) per calcolare la posizione del sole, l’equazione del tempo ecc.

Siti web

- [6] “Orologi Solari” <http://digilander.libero.it/orologi.solari>
Istruzioni, programmi, immagini ...
- [7] “GNOMONICA - Meridiane e Orologi Solari - sundial” (<http://www.gnomonica.it/>)
Immagini, articoli, un bel dizionario di gnomonica.
- [8] “Gnomonica e Arte - SOLIS ET ARTIS OPUS - Mario Arnaldi's page Meridiane, Sundials”
<http://digilander.iol.it/McArdal/Gnomo-index.htm>
Istruzioni, immagini.
- [9] “Gruppo Astrofili Piceni Orologi solari” (http://www.insinet.it/gap/fr_orol.htm)
- [10] “AS 2001 Positional Astronomy” (<http://star-www.st-and.ac.uk/~fv/webnotes/index.html>)
Articoli di astronomia.
- [11] "Queens' College Cambridge - VirtualSundial”
(<http://www.quns.cam.ac.uk/Queens/virtualdial/index.html>)
Simulazione in tempo reale di un orologio solare.
- [12] “The British Sundial Society Glossary” (<http://www.sundialsoc.org.uk/glossary/index.html>)
Un dizionario di gnomonica veramente completo (in inglese).
- [13] “The North American Sundial Society - Sundials” (<http://www.sundials.org/>)
Qui è reperibile il "Dialist's Companion", un bellissimo programma (shareware) che mostra in tempo reale tutti parametri solari (azimut, declinazione, equazione del tempo ecc.)
- [14] “Home Page UAI - SEZIONE QUADRANTI SOLARI” (http://www.uai.it/sez_gqs/index.htm)
Il sito ufficiale dei gnomonisti italiani.
- [15] HOROLOGIUM Associaz. culturale non profit (<http://www.meridiane.org/>)
- [16] SOLARIA (<http://www.solariameridiane.com/911.html>)
Molti link ad altri siti di gnomonica.

Programmi di calcolo

[17] <http://digilander.libero.it/orologi.solari/download/download.html>

Il mio programma freeware che :

- calcola orologi solari orizzontali, verticali declinanti, polari, equinoziali, analemmatici
- calcola le ore francesi, italiane, babilonesi e temporali
- permette la simulazione dell'ombra in tempo reale o in qualunque istante dell'anno
- calcola e visualizza le condizioni di illuminazione del quadrante nel corso delle stagioni
- contiene uno *screen saver* che indica l'ora corrente sul quadrante che avete progettato.

[18] <http://www.sundials.org/publications/dcomp/dcomp.htm>

È il programma (shareware) *Dialist's Companion*, scritto dal NASS (North American Sundial Society) per la visualizzazione di tutti i parametri solari, sia in tempo reale che nella data ed all'ora desiderata.

[19] <http://www.cadrans-solaires.org>

Sito francese da cui è scaricabile il diffuso programma *Shadows* per il calcolo di quadranti solari piani. Il programma è freeware per i quadranti più diffusi (verticali declinanti, orizzontali, polari, equatoriali) mentre occorre comprare la licenza per altri tipi di quadrante.

[20] <http://www.de-zonnewijzerkring.nl/eng/index-ber-constr.htm>

Sito da cui è scaricabile il Programma freeware *ZW2000* per il calcolo di quadranti solari piani.

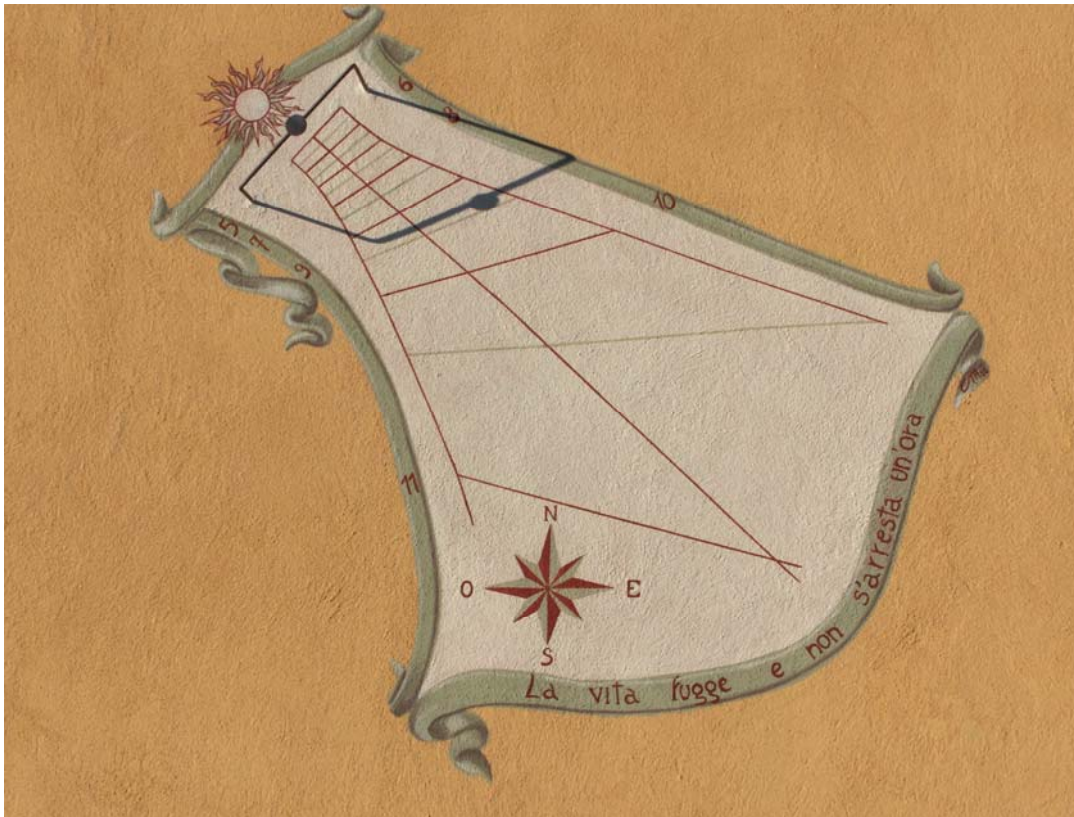


Figura 48 — Orologio solare su superficie fortemente declinante (110° ad est)