

Il profilo dell'orizzonte: calcolo e utilizzo negli orologi solari

Il profilo azimut-elevazione dell'orizzonte, ottenuto da misure sperimentali o calcolato dai dati altimetrici disponibili in rete, può essere usato per calcolare le ore di illuminazione del quadrante e per tracciarvi la linea limite del tramonto e le linee di ore di luce rimanenti.

The horizon profile, obtained through experimental measurements or computed from free altitude data available on the web, can be used to compute the lighting condition of the dial and to draw the line of the horizon and the lines of the remaining hours of light.

di Gianpiero Casalegno

Introduzione

La linea dell'orizzonte compare normalmente in un O.S. verticale come linea retta orizzontale passante per la base dell'ortostilo.

Questa linea corrisponde alla posizione del sole nell'istante in cui il suo centro geometrico si trova sull'orizzonte teorico del luogo ovvero quando la sua altezza è nulla.

Questa condizione è, per la maggior parte dei luoghi, puramente teorica. A meno che non ci si trovi in riva al mare, quasi sempre una montuosità impedirà di vedere il sole allineato su questo orizzonte teorico: l'alba avverrà quindi più tardi del previsto, il tramonto avverrà prima.

Sarebbe quindi più corretto riportare sull'O.S. la linea vera del profilo dell'orizzonte anziché una retta orizzontale.

Se questo non si fa è anche a causa della difficoltà di ottenere il profilo azimut/elevazione necessario per tracciare questa linea.

Il sistema più ovvio per ottenere questa informazione è quello di usare un teodolite (con questo metodo Luigi Ghia ha disegnato alcuni quadranti in Valle d'Aosta) ma non tutti hanno accesso a questo strumento.

In ANSELMI 2004 è stato proposto un metodo originale che utilizza uno specchio per disegnare direttamente sul posto il profilo proiettato dal gnomone sul quadrante.

In questo lavoro si presenta un metodo puramente numerico che a partire da dati altimetrici disponibili liberamente su internet consente di calcolare, con accuratezza accettabile, il profilo visto da una qualunque località della terra¹.

Si mostra inoltre come il programma Orologi Solari rev. 25.0 possa sia effettuare il calcolo sia utilizzare il risultato in vari modi.

I dati DEM

La Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) della navicella shuttle ha consentito di misurare il profilo altimetrico terrestre e mappare la superficie compresa tra -60 e + 60 gradi di latitudine.

I dati ottenuti (denominati Digital Elevation Models - DEM) sono liberamente disponibili dal sito internet CGIAR-CSI (<http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Tutta l'Italia è compresa in 8 file denominati:

<i>file</i>	<i>latitudine</i>	<i>longitudine</i>
srtm_38_3.asc	45° ÷ 50°	5° ÷ 10°
srtm_38_4.asc	40° ÷ 45°	
srtm_38_5.asc	35° ÷ 40°	
srtm_39_3.asc	45° ÷ 50°	10° ÷ 15°
srtm_39_4.asc	40° ÷ 45°	
srtm_39_5.asc	35° ÷ 40°	
srtm_40_4.asc	40° ÷ 45°	15° ÷ 20°
srtm_40_5.asc	35° ÷ 40°	

¹ I dati DEM vennero usati anche da Ghia e Tasselli in alternativa alle misure sperimentali per il loro Orologio Panoramico [GHIA TASSELLI 2008].

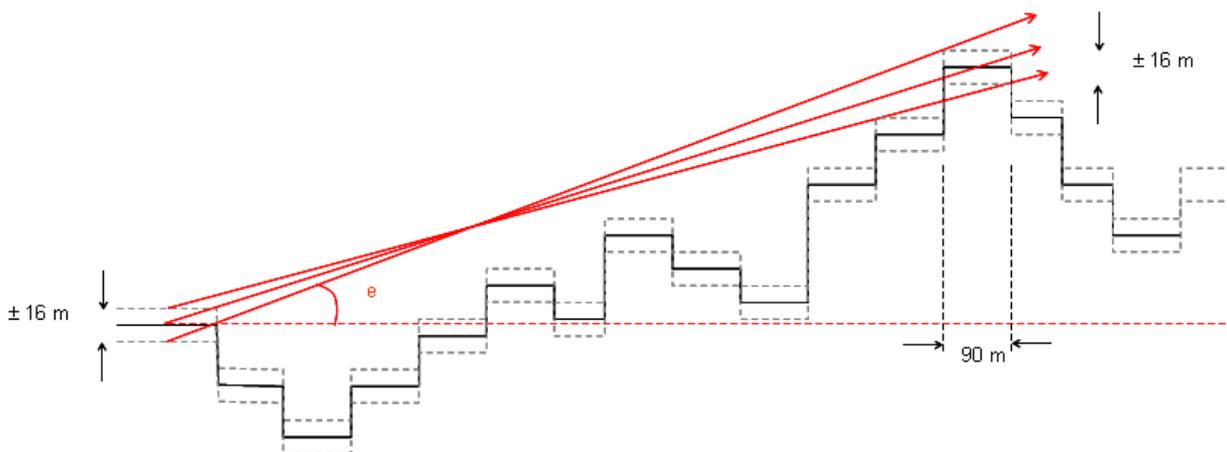


Fig. 1 – Valutazione dell'errore nel calcolo di e

L'estensione .asc identifica il formato “arc-formatted ASCII” che è quello utilizzato dal programma Orologi Solari.

La precisione in elevazione dichiarata è ± 16 m.
La risoluzione orizzontale è di 3 secondi d'arco che corrispondono all'equatore a circa 90 m.

I dati sono raccolti in file di dimensioni pari a circa 150 MB che coprono una superficie di 5 x 5 gradi con 6000 x 6000 punti.

Cinque gradi di latitudine corrispondono circa a 540 Km mentre cinque gradi di longitudine corrispondono ad una distanza variabile con la latitudine: circa 440 Km a 35° e 350 Km a 50°.

Il calcolo del profilo

A partire dai dati DEM è possibile calcolare il profilo dell'orizzonte visto da un osservatore posto in una determinata località. Il procedimento è il seguente.

Partendo dal punto di osservazione si procede lungo una linea di azimut costante e si valuta l'angolo di elevazione per ogni casella incontrata: il valore più elevato trovato è il valore di elevazione dell'orizzonte in corrispondenza di quel valore di azimut. Ripetendo l'operazione a passi di azimut costanti, si ottiene il profilo cercato.

Naturalmente l'errore presente in ogni valore di altezza e la risoluzione limitata a 90 m limitano l'accuratezza dei risultati.

La precisione ottenibile nel calcolo del valore di elevazione dipende da (fig. 1):

- errore nell'altezza del punto di osservazione (± 16 m)
 - errore nell'altezza del punto sull'orizzonte (± 16 m)
 - errore nella determinazione della distanza dell'orizzonte (90 m)
 - distanza del punto
- ed è rappresentata in figura 2.

E' evidente dal grafico (ed è anche facilmente comprensibile) che l'errore è inversamente proporzionale alla distanza dell'orizzonte.

Si verifica dal grafico che a distanze maggiori di 1 Km l'errore è inferiore a $\pm 4^\circ$, a 2 Km scende a $\pm 2^\circ$.

La risoluzione ottenibile in azimut dipende da:

- risoluzione orizzontale (90 m)
 - distanza del punto
- ed è rappresentata in fig. 3.

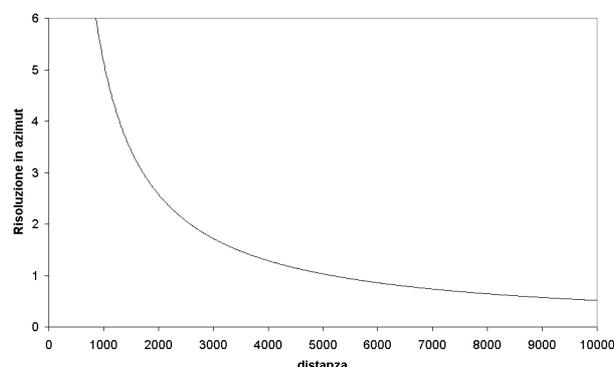


Fig. 3 – Risoluzione in azimut

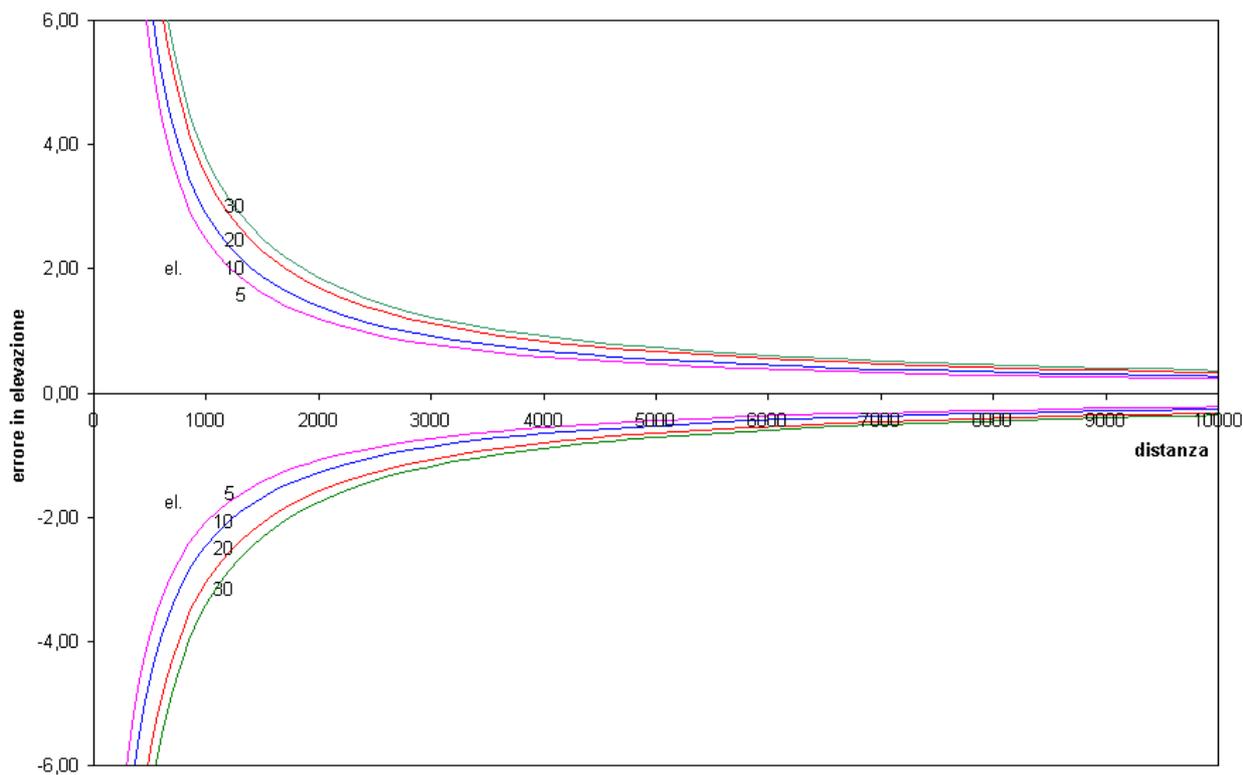


Fig. 2 – Errore massimo nel calcolo della elevazione

Anche in questo caso il risultato migliora, come ci si poteva aspettare, all'aumentare della distanza dell'orizzonte.

Risultati e confronti

Alcuni amici gnomonisti mi hanno gentilmente reso disponibili misure da loro effettuate con un teodolite in diverse località del nord Italia.

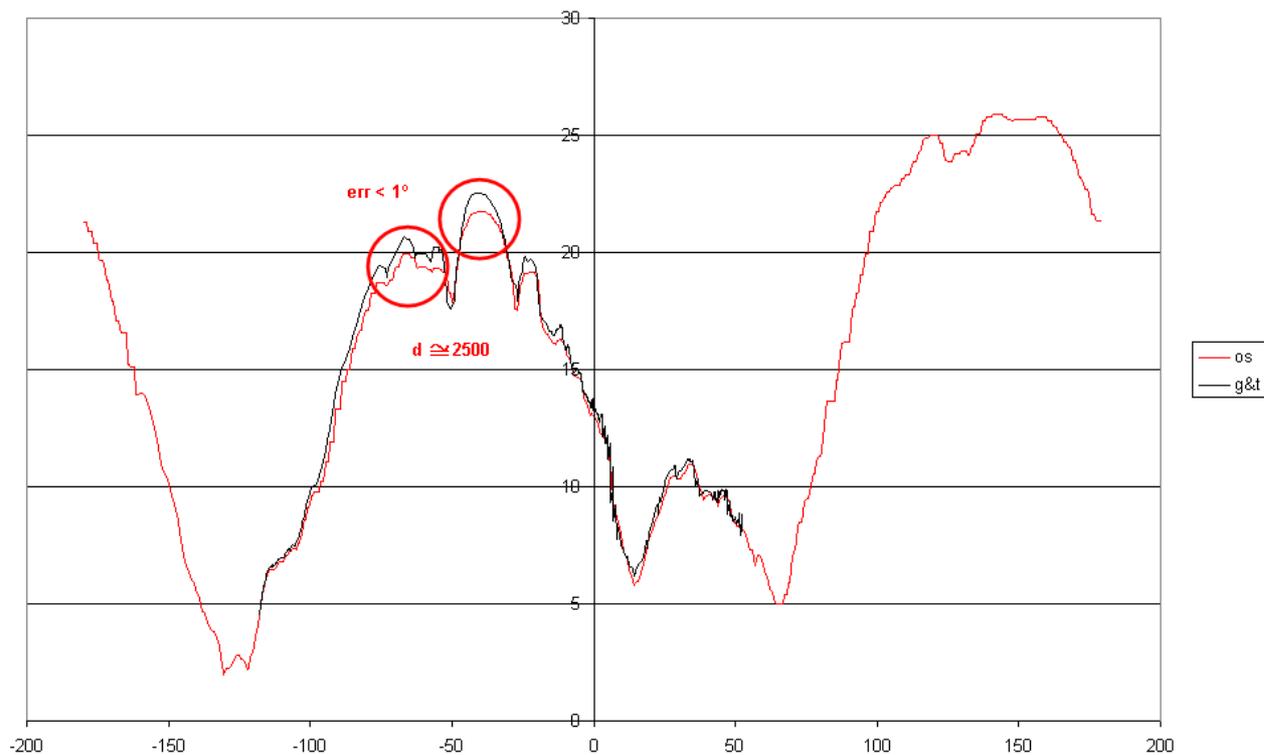


Fig. 4 – Località Monclassico (misure di Ghia e Tasselli)

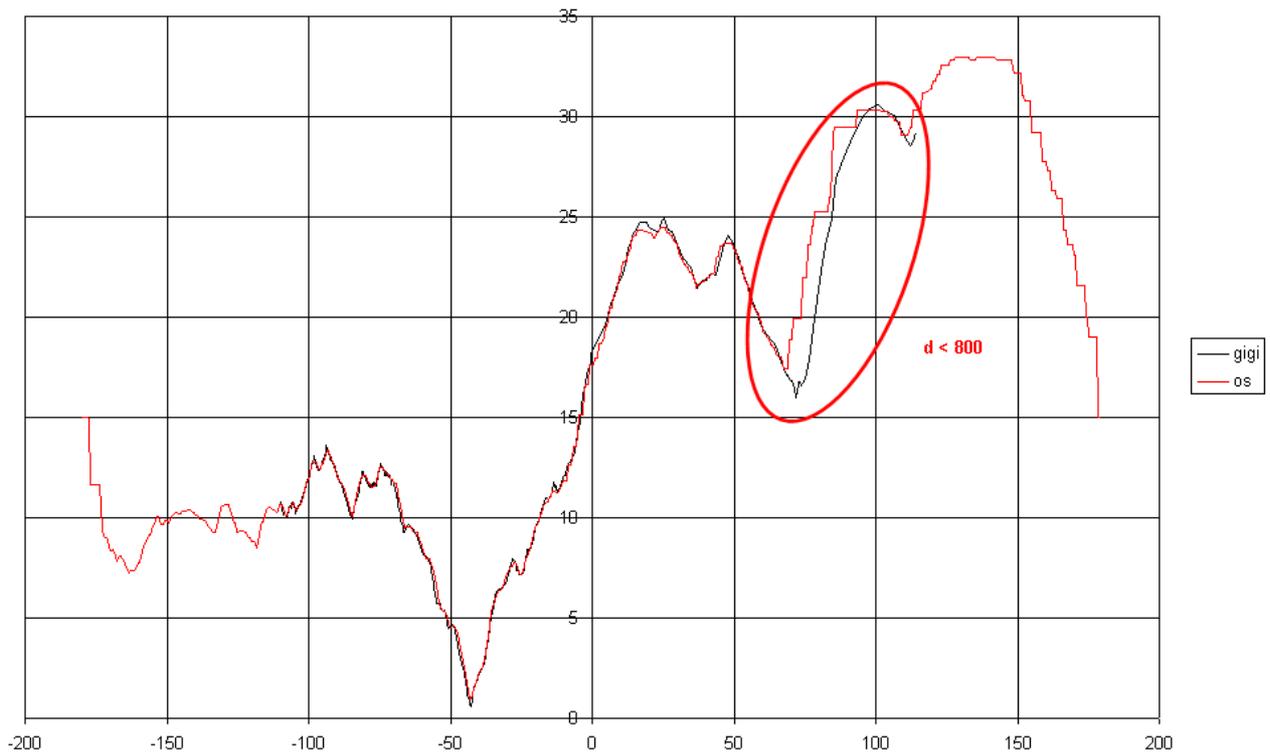


Fig. 5 – Località Lo Pian (misure di Luigi Ghia)

Ho quindi calcolato il profilo per le stesse località utilizzando i dati DEM ed ho messo a confronto i risultati nei grafici seguenti.
In fig. 4 il confronto è con le misure di Ghia e Tasselli

a Monclassico per il loro Orologio Panoramico [3]. L'errore ottenuto con i dati DEM è inferiore a 1 grado.

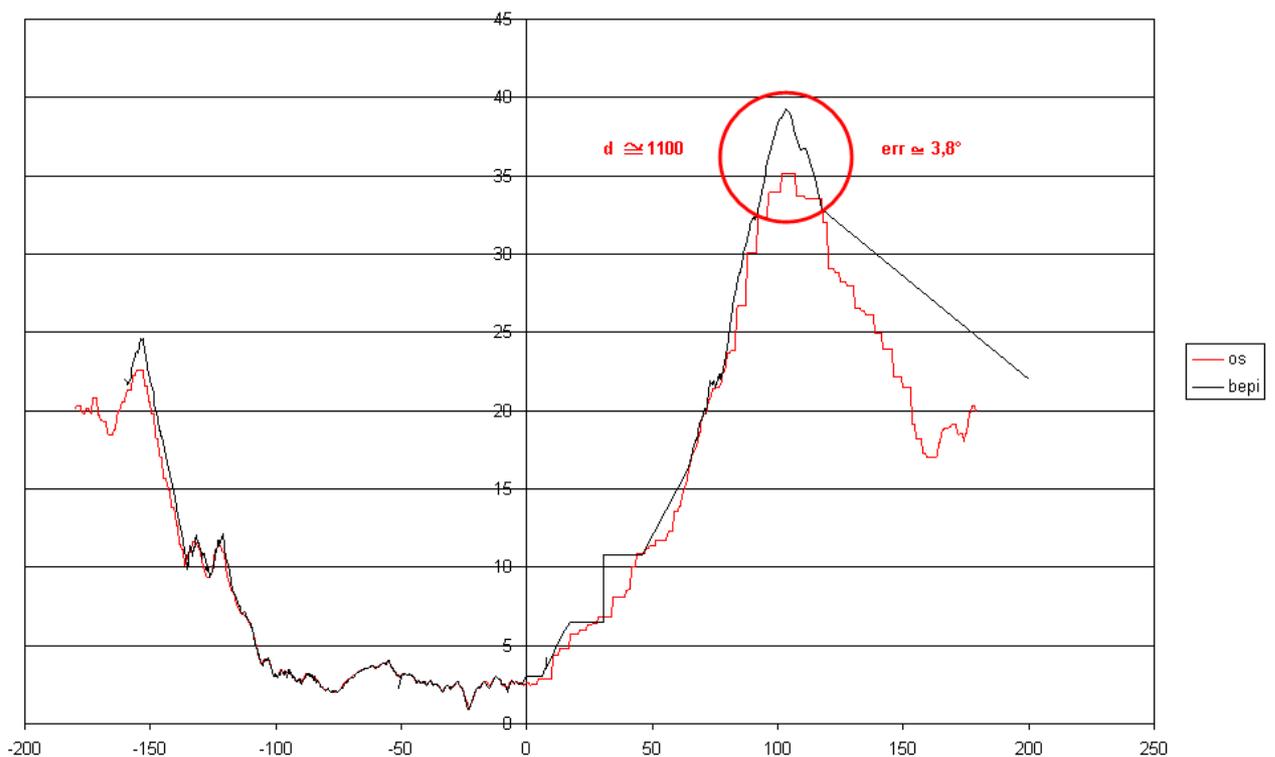


Fig. 6 – Località Volpez (misure di Giuseppe De Donà)

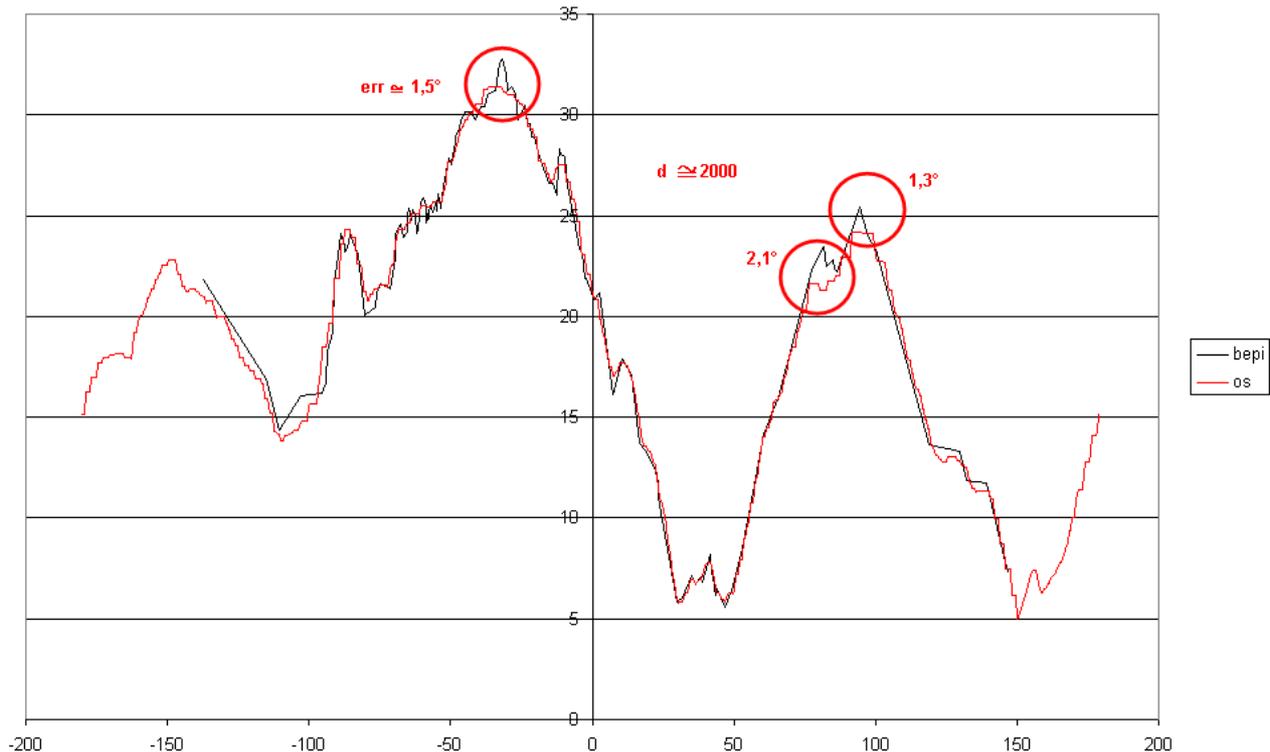


Fig. 7 – Località Alleghe (misure di Giuseppe De Donà)

L'errore massimo si concentra soprattutto in corrispondenza dei picchi; è questo un particolare caratteristico dei dati DEM che viene anche sottolineato negli articoli che analizzano le caratteristiche di questi dati.

La fig. 5 è relativa a misure effettuate da Luigi Ghia. In questo caso l'errore arriva anche a 4 gradi ma è da notare che la distanza dell'orizzonte in questi punti è inferiore ai 1000 m e si confermano quindi le considerazioni derivanti dalle figure 2 e 3.

La fig. 6 contiene il confronto con misure di De Donà. L'errore massimo è di poco inferiore a 4 gradi ed è ancora relativo a picchi a distanza di circa 1000 m.

Sono anche evidenti zone di bassa risoluzione in azimut dovute alla vicinanza del profilo ed in accordo al grafico di fig. 3.

I dati di fig. 7 sono ancora di De Donà. Ancora una volta gli errori massimi sono in corrispondenza dei picchi che risultano sotto stimati.

Il calcolo con Orologi Solari

Il programma Orologi Solari rev. 25.0 contiene uno strumento che permette di calcolare il profilo

dell'orizzonte per una qualsiasi località del mondo per cui esistano dati DEM.

Vi si accede tramite il comando di menu “Strumenti” → “Calcolo orizzonte”.

Mediante la finestra di dialogo di fig. 8 con il tasto “carica un file DEM” viene anzitutto letto e caricato il file contenente i dati DEM.

I dati caricati vengono mostrati nella mappa a falsi colori associati al dato altimetrico.

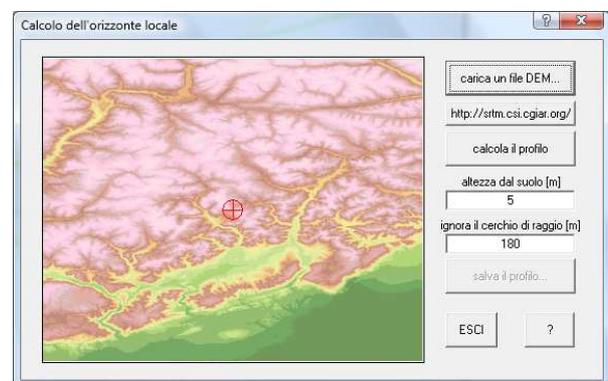


Fig. 8 – Calcolo dell'orizzonte

Si noti che quando le coordinate geografiche dell'orologio si trovano in prossimità del confine tra

diverse caselle di 5° x 5° occorre ripetere il processo fino a leggere tutti i dati necessari. Quindi con il tasto “calcola il profilo” si inizia il calcolo del profilo dell’orizzonte.

I due parametri nella finestra definiscono:

- l’altezza del quadrante (e quindi del punto di vista) rispetto al terreno
- il raggio intorno al quadrante che verrà ignorato nel calcolo del profilo (allo scopo di escludere dal calcolo i punti vicini che come visto possono avere un pesante effetto sulla accuratezza del risultato).

Il profilo calcolato viene mostrato nella finestra di fig. 9 in un grafico a scala polare.

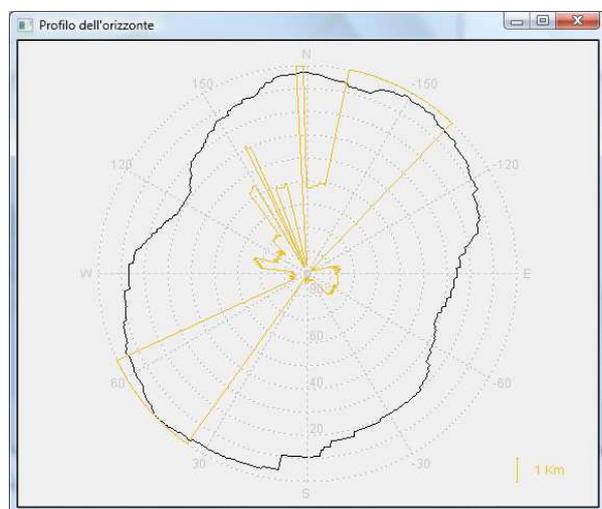


fig. 9 – Grafico del risultato

Nello stesso grafico è anche rappresentata la distanza dei punti che costituiscono l’orizzonte calcolato.

Il risultato può quindi essere salvato in un file (il programma utilizza l’estensione .ele) il cui formato è il seguente:

```
46.32416667 = Latitude
-12.09611111 = Longitude
720 = NPoints (min 2, max 3600)
-180.000000 3.024920 3706.500508
-179.500000 3.270936 3707.052511
-179.000000 3.270936 3707.052511
-178.500000 3.623392 3708.708029
.....
```

Le prime due linee contengono il valore decimale delle coordinate geografiche, la terza il numero di punti che definiscono il profilo (minimo 2, massimo 3600).

Le linee seguenti contengono i valori di:

- azimut (rispetto al sud, positivo verso ovest)
- angolo di elevazione dell’orizzonte
- distanza dell’orizzonte stesso

dove il quest’ultimo valore viene salvato a puro scopo documentativo e non è utilizzato successivamente.

Il file .ele può naturalmente essere preparato a partire da dati misurati con uno strumento se si vogliono comunque utilizzare le caratteristiche di Orologi Solari che sono descritte nei paragrafi seguenti.

Utilizzo del profilo dell’orizzonte

A S. Felice Circeo [CASALEGNO 2009] avevo illustrato come Orologi Solari possa visualizzare le condizioni di illuminazione di un orologio tenendo conto della disposizione del quadrante e di ostacoli adiacenti come balconi o edifici. Lo stesso argomento è poi stato ripreso ed espanso in CASALEGNO 2010. Avendo a disposizione il profilo dell’orizzonte è ora possibile aggiungere anche questa informazione.

Il file .ele viene introdotto nella finestra di fig. 10.

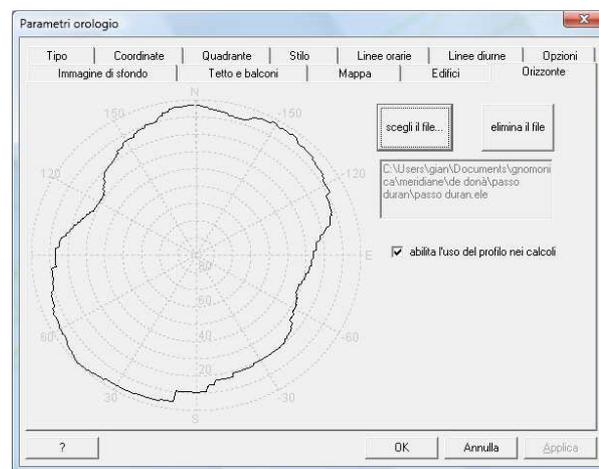


Fig. 10 – Introduzione del file .ele

Se ora si chiede al programma la visualizzazione delle condizioni di illuminazione del quadrante, si ottiene un grafico in cui il profilo dell’orizzonte è visualizzato insieme alle linee orarie e diurne (fig. 11) oltre naturalmente all’effetto di eventuali ostacoli (balconi, tetti, edifici).

Il profilo dell’orizzonte può poi anche essere utilizzato per tracciare sul quadrante la linea dell’orizzonte vero in sostituzione della consueta linea orizzontale (fig. 12).

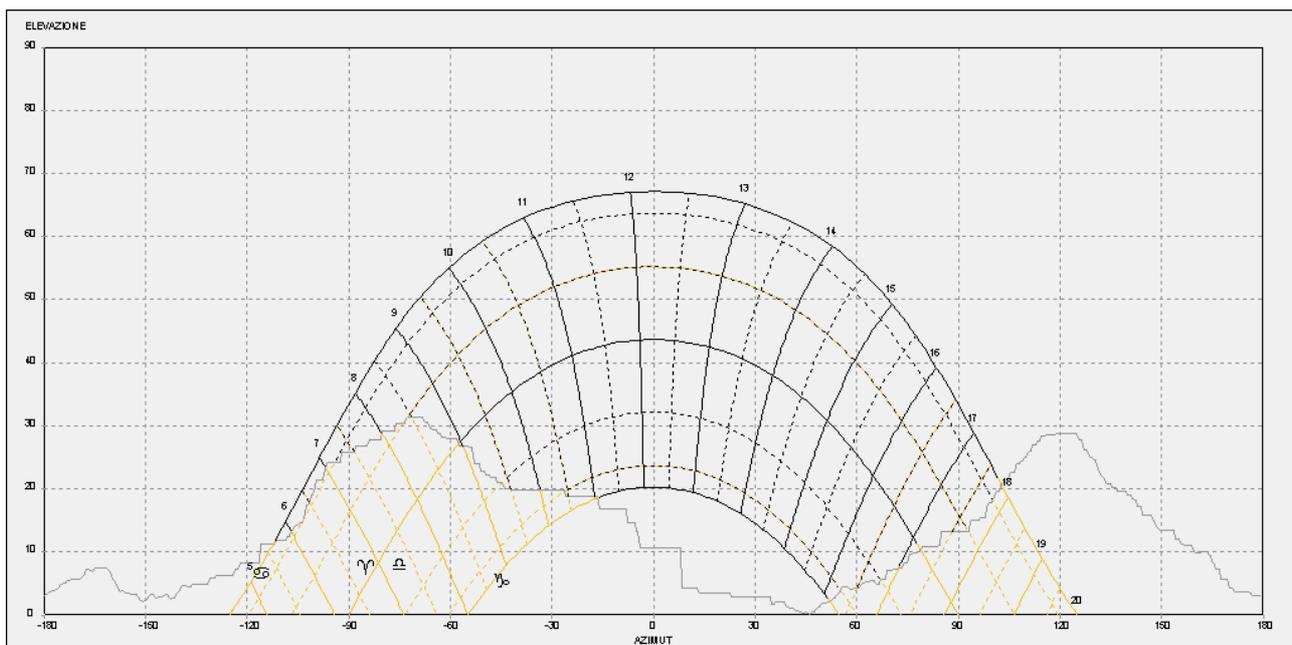


Fig. 11 – Condizioni di illuminazione del quadrante

La linea dell'orizzonte vero può anche essere tracciata su un orologio orizzontale (fig. 13), dove le linee dell'orizzonte teorico si trova invece all'infinito.

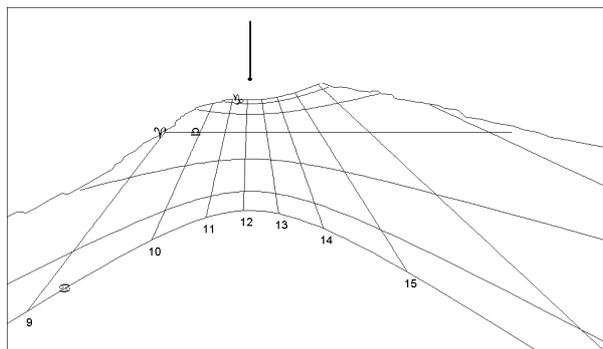


Fig. 12 – Linee dell'orizzonte vero su o. verticale

Questi grafici suggeriscono la possibilità di tracciare sul quadrante le linee che indicano le ore mancanti al tramonto vero (una specie di ore italiane chiamate nel programma Orologi Solari "ore al tramonto vero") come in fig. 14.

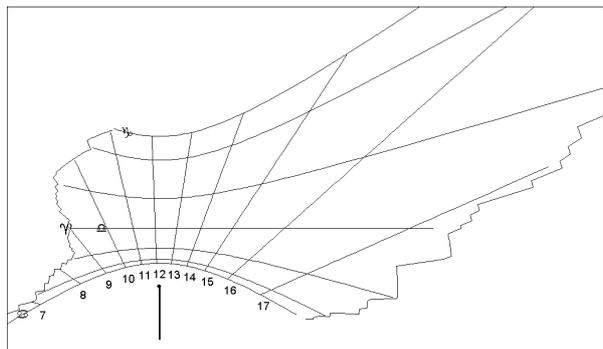


Fig. 13 – Linee dell'orizzonte vero su o. orizzontale

Naturalmente infine Orologi Solari tiene conto dei dati inseriti come profilo dell'orizzonte anche nella modalità "Simulazione", valutando ad ogni istante simulato se il sole si trovi sopra o sotto l'orizzonte.

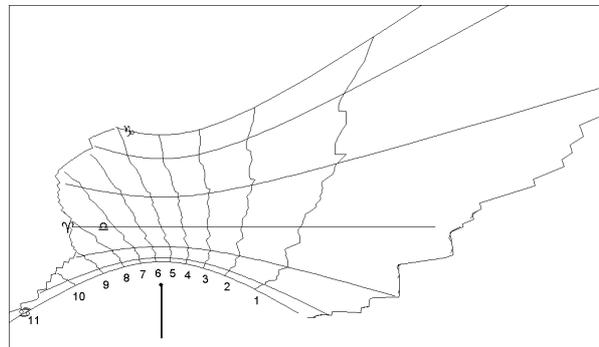


Fig. 14 – Ore restanti al tramonto vero

Conclusioni

Il profilo dell'orizzonte può essere calcolato a partire dai dati DEM liberamente scaricabili da internet.

Si può verificare che l'accuratezza del risultato è inversamente proporzionale alla distanza dell'orizzonte. Si nota inoltre che i picchi sono in genere leggermente sottostimati.

Il programma Orologi Solari rev. 25.0 può utilizzare il profilo dell'orizzonte (calcolato oppure misurato sperimentalmente ed inserito quindi in un file .ele

opportunamente formattato) per calcolare le condizioni di illuminazione del quadrante.

Con quest'ultima modifica il programma è in grado di gestire tutte le possibili cause di oscuramento dell'orologio:

- declinazione ed inclinazione della superficie
- tetti / balconi
- edifici adiacenti
- montagne

Infine il programma permette di calcolare e di tracciare sul quadrante la vera linea dell'orizzonte e le linee delle ore mancanti al tramonto.

Formule

Nel triangolo sferico di fig. 15 i punti 1 e 2 rappresentano rispettivamente il punto di osservazione ed un punto dell'orizzonte.

L'azimut A con cui viene il punto 2 sull'orizzonte viene visto dal punto 1 si calcola come:

$$\tan(A) = \frac{\sin(\lambda_1 - \lambda_2)}{[\sin(\Phi_1) \cos(\lambda_1 - \lambda_2) - \cos(\Phi_1) \tan(\Phi_2)]}$$

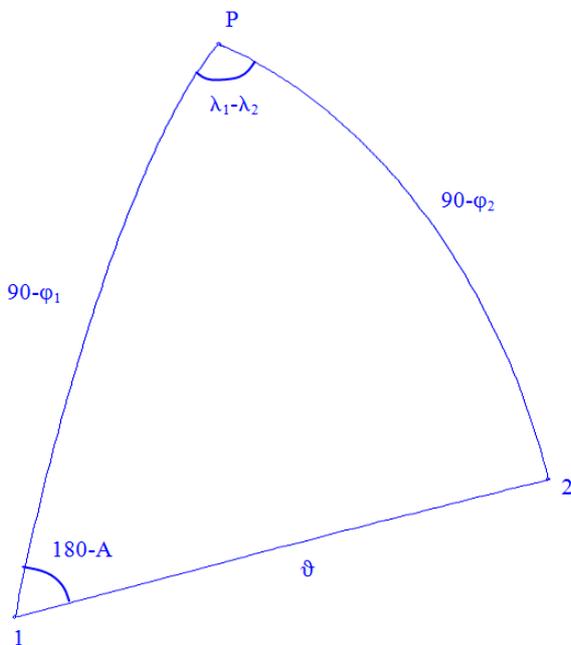


fig. 15

Per il calcolo dell'elevazione e si consideri la fig. 16.

Il punto 1 ad altezza h_1 è il punto di osservazione.

Il punto 2 rappresenta l'orizzonte ad altezza h_2 e distanza d (distanza D in linea retta).

$$\sin(\theta) = \frac{\sin(\lambda_1 - \lambda_2) \cos(\Phi_2)}{\sin(A)}$$

$$D = \sqrt{(R+h_1)^2 + (R+h_2)^2 - 2*(R+h_1)*(R+h_2)*\cos(\theta)}$$

$$\cos(e) = \frac{(R+h_2) \sin(\theta)}{D}$$

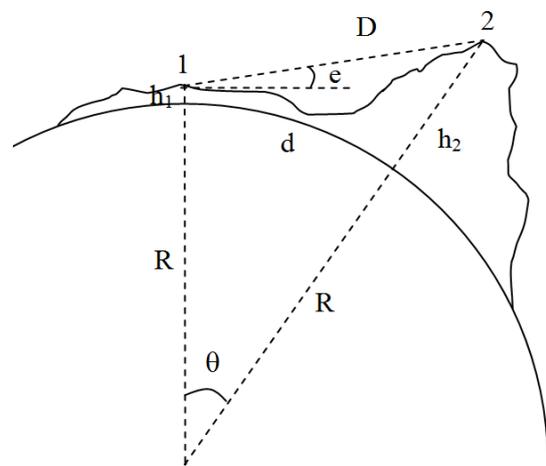


fig. 16

Bibliografia

ANSELMINI R. (2004), "La linea di occultamento del sole", Gnomonica Italiana n. 7, Novembre 2004

GHIA L., TASSELLI T. (2008), "Orologio Panoramico", XV Seminario Nazionale di Gnomonica, Monclassico 2008

CASALEGNO G. (2009), "Programma software Orologi Solari: aggiornamenti", XVI Seminario Nazionale di Gnomonica, S. Felice Circeo 2009

CASALEGNO G. (2010), "Methods And Tools For Sundial Siting", The Compendium 17-1, March 2010