

# *Orientamenti astronomici di Roccabruna e Tempio di Apollo: algoritmi e calcoli*



<http://www.archaeoastronomy.it>

**Mario Codebò**

[info@archaeoastronomy.it](mailto:info@archaeoastronomy.it)

**Elena Salvo**

[elenasalvo78@gmail.com](mailto:elenasalvo78@gmail.com)

Di seguito sono descritti le procedure ed i calcoli<sup>1</sup> utilizzati per misurare gli orientamenti di Roccabruna e del Tempio di Apollo della Villa Adriana di Tivoli (Roma), basati sulle misure prese *in loco*, con squadro sferico graduato ed inclinometro<sup>2</sup>, dagli scriventi in data 01-03/10/2010<sup>3</sup> e su una fotografia scattata da Giuseppe Veneziano al Tempio di Apollo in data 21/06/2010 *Tm* 18h 03m<sup>4</sup>.

A) 2009-2010 d.C.

Note le coordinate geografiche di Roccabruna

$\varphi$  41°56'16,63"N;  $\lambda$  12°46'23,13"E; *q. m.* 110<sup>5</sup>

e quelle del Tempio di Apollo

$\varphi$  41°56'12,32"N;  $\lambda$  12°46'39,56"E; *q. m.* 114

---

<sup>1</sup> Tutte le formule qui usate sono tratte dalle seguenti pubblicazioni: CODEBÒ 1997; CODEBÒ c.s.; FLORA 1987<sup>5</sup>; MEEUS 1990; MEEUS 2005; PESCI 1911; SMART 1977<sup>6</sup>.

<sup>2</sup> Le misure zenitali sono state prese con livelletta Abney, su treppiede, a lettura diretta di 0°10' e con inclinometro Suunto a lettura diretta di 1°.

<sup>3</sup> Purtroppo non è stato possibile fotografare il sorgere del Sole al solstizio d'inverno, causa maltempo.

<sup>4</sup> Ringraziamo Giuseppe Veneziano per averci concesso l'uso della fotografia da lui scattata e dei dati da lui raccolti.

<sup>5</sup> È opportuno chiarire che in questo lavoro sono dati, a scopo didattico ed esplicativo, i valori con tutti i decimali che la calcolatrice visualizza, però i valori reali e significativi, applicabili alle strutture sul terreno, sono solo i gradi od ore ed, in parte, i primi, con esclusione dei secondi e dei decimali di secondi.

ricavate da Google Earth a cura di Giuseppe Veneziano, sono stati calcolati gli azimut di levata e di tramonto veri<sup>6</sup> del Sole vero<sup>7</sup>  $\odot_v, \uparrow, \downarrow$  ed i rispettivi angoli orari  $tv$ <sup>8</sup> ai Solstizi ed agli Equinozi del 2010 (tabelle nn. 1 e 2):

Tabella n. 1: Roccabruna

Data	Azimut levata	Azimut tramonto	$tv$ levata	$tv$ tramonto
equinozio di primavera	90°	270°	6h	18h
solstizio d'estate	57°40'30,21"	302°19'29,79"	4h 28m 18,3s	19h 31m 41,7s
equinozio d'autunno	90°	270°	6h	18h
solstizio d'inverno	122°19'29,79"	237°40'30,21"	7h 31m 41,7s	16h 28m 18,3s

Tabella n. 2: Tempio di Apollo

Data	Azimut levata	Azimut tramonto	$tv$ levata	$tv$ tramonto
equinozio di primavera	90°	270°	6h	18h
solstizio d'estate	57°40'32,66"	302°19'27,34"	4h 28m 18,54s	19h 31m 41,46s
equinozio d'autunno	90°	270°	6h	18h
solstizio d'inverno	122°19'27,34"	237°40'32,66"	7h 31m 41,46s	16h 28m 18,54s

Con la formula

$$T^9_v = tv + 180^\circ - \lambda$$

è stato ricavato il tempo medio<sup>10</sup> del tramonto vero<sup>11</sup>  $tm_{vero, \downarrow} \odot^{12}$

$$tm_{\downarrow} \odot_v \text{ 19/06/2009 } tm \text{ 20h 28m 55s } \text{ a Roccabruna } = 112^\circ 54' 57,69'' + 180^\circ - 12^\circ 46' 23,13'' = 280^\circ 08' 34,56'' + (0h \ 01m \ 26,02s \times 15^{13}) = 280^\circ 30' 04,86'' / 15 = 18h \ 42m \ 00,32s + 1h^{14} + 1h^{15} = 20h \ 42m \ 00,32s$$

$$tm_{\downarrow} \odot_v \text{ 21/06/2010 } tm \text{ 20h 03m } \text{ al Tempio di Apollo } = 112^\circ 55' 22,1'' + 180^\circ - 12^\circ 46' 39,56'' = 280^\circ 08' 42,54'' + (0h \ 01m \ 48,87s \times 15) = 280^\circ 35' 55,59'' / 15 = 18h \ 42m \ 23,71s + 1h + 1h = 20h \ 42m \ 23,71s.$$

<sup>6</sup> Per sorgere e tramonto veri del Sole vero s'intendono gli azimut e gli istanti in cui il centro geometrico dell'astro diurno interseca l'orizzonte astronomico.

<sup>7</sup> Il Sole vero  $\odot_v$  è il Sole reale che si muove con moto non uniforme. Per un'esauriente descrizione del tempo in astronomia, si vedano FLORA 1987<sup>5</sup>, cap. X; PANNUNZIO 2002; SMART 1977<sup>6</sup>, cap. VI; ZAGAR 1984, cap. IV.

<sup>8</sup> Il tempo vero  $tv$  del Sole è l'angolo orario del Sole vero.

<sup>9</sup> La  $T$  maiuscola indica sempre il tempo di Greenwich. La  $t$  minuscola indica sempre il tempo locale.

<sup>10</sup> Il tempo medio  $tm$  è l'angolo orario del Sole medio  $\odot_m$ , cioè di un Sole virtuale che si muove con moto uniforme.

<sup>11</sup> Il sorgere ed il tramonto veri del Sole  $\odot_{\uparrow, \downarrow}$  differiscono dal sorgere e dal tramonto apparenti  $\odot_{\uparrow, \downarrow app}$  per la differenza tra altezza osservata  $h_o$  ed altezza vera  $h_v$ , dovuta principalmente alla rifrazione atmosferica. Esistono diverse formule per trasformare  $\odot_{\uparrow, \downarrow}$  in  $\odot_{\uparrow, \downarrow app}$  ed  $h_o$  in  $h_v$ . Cfr. FLORA 1987<sup>5</sup>, cap. XIV; MEEUS 1990, pp. 43-44; MEEUS 2005, cap. 15.

<sup>12</sup> La freccia rivolta verso il basso  $\downarrow$  indica il tramonto; la freccia rivolta verso l'alto  $\uparrow$  indica il sorgere. Il simbolo  $\odot$  indica il Sole.

<sup>13</sup> Per trasformare un tempo in gradi sessagesimali basta moltiplicarlo per 15. Per trasformare i gradi sessagesimali in tempo basta dividerli per 15.

<sup>14</sup> L'ora del fuso orario dell'Europa Centrale, cui appartiene l'Italia, cioè il primo fuso orario a E di Greenwich.

<sup>15</sup> L'ora estiva, in vigore in Italia dall'ultima domenica di marzo all'ultima domenica di ottobre.

Poi si è calcolata l'equazione del tempo vero  $ET_v^{16}$  mediante la formula di Smart (1977<sup>6</sup>), come descritta da Meeus (1990, cap. 21), invertendo i segni  $-e +^{17}$ :

$$Lm \text{ (longitudine media del Sole)} = 280,46646^\circ + 36000,76983^\circ T + 0,0003032^\circ T^2$$

$$Ec \text{ (eccentricità dell'orbita terrestre)} = 0,016708634 - 0,000042037T - 0,0000001267T^2$$

$$M \text{ (anomalia media del Sole)} = 357,52911^\circ + 35999,05029^\circ T - 0,0001537^\circ T^2$$

$$ET_v = -1 \times \{ [\tan^2(\epsilon/2) \sin(2Lm) + 2Ec \sin M - 4Ec \tan^2(\epsilon/2) \sin M \cos(2Lm) + (1/2) \tan^4(\epsilon/2) \sin(4Lm) + (5/4) Ec^2 \sin(2M)] \} \times 180^\circ / 3,14159265359 / 15$$

ed è risultata:

$$+0h \ 01m \ 26,02s \text{ per la data } 19/06/2009 \text{ } tm \ 20h \ 28m \ 55s$$

$$+0h \ 01m \ 48,87s \text{ per la data } 21/06/2010 \text{ } tm \ 20h \ 03m^{18}$$

Si trasforma poi l'altezza osservata  $h_o$  dell'orizzonte in altezza vera  $h_v^{19}$ :

$$h_v \downarrow \odot = 0^\circ - 0,03\sqrt{110} - 0^\circ 36' 29'' - 0^\circ 15,7' + 0^\circ 00' 08,794148'' \cos 0^\circ = -1^\circ 10' 54,92''$$

<sup>16</sup> L'equazione del tempo  $ET$  può esprimersi come equazione del tempo medio  $ET_m = tv - tm$  oppure come equazione del tempo vero  $ET_v = tm - tv$ . Nel primo caso, per ottenere il tempo medio si calcolerà  $tm = tv - ET_m$ . Nel secondo caso, si calcolerà  $tm = tv + ET_v$ . Qui abbiamo adottato la convenzione  $ET_v = tm - tv$ , come nelle Effemeridi Nautiche I.I.M.. La formula di Smart calcola  $ET_m$  in radianti. Per trasformarli in gradi sessagesimali occorre moltiplicarli per  $180^\circ / \pi$ . Il risultato diviso per 15 dà  $ET_m$  in ore, minuti e secondi di tempo.

<sup>17</sup> Se non s'invertono i segni  $-e +$  nella formula di Smart, si ottiene l'equazione del tempo medio  $ET_m = tv - tm$ .

<sup>18</sup> Le Effemeridi Nautiche I.I.M. danno i seguenti valori di  $ET_v$ , ma alle ore 12 UTC:

$$+0h \ 01m \ 22s \text{ per la data } 19/06/2009 \text{ UTC } 12h \ 00m \ 00s$$

$$+0h \ 01m \ 46s \text{ per la data } 21/06/2010 \text{ UTC } 12h \ 00m \ 00s.$$

<sup>19</sup> Per effetto della rifrazione atmosferica, l'immagine del Sole viene proiettata nell'atmosfera anche quando l'astro è sotto l'orizzonte astronomico. L'entità di questa proiezione dipende, tra l'altro, dall'altezza dell'osservatore sul livello del mare. L'esito è sempre una visibilità del Sole per un tempo un poco più lungo della sua effettiva presenza, sia all'alba che al tramonto. Pertanto, per trasformare il tempo medio del sorgere o del tramontare veri del Sole in tempo medio del sorgere o del tramontare apparenti del Sole, occorre apportare al primo una correzione  $\Delta P^m$  in minuti primi che è in funzione dell'altezza vera  $h_v$ , dell'angolo al polo  $P$ , della latitudine  $\varphi$  e della declinazione  $\delta$ :

$$\Delta P^m = (1 / 15) [h_v / (\sin P \cos \varphi \cos \delta)].$$

Occorre prima calcolare l'altezza vera  $h_v$  (di cui s'introduce al numeratore della formula il solo valore assoluto, senza tenere conto del segno) con una delle formule adatte, la più semplice delle quali è la seguente:

$$h_v = h_o - 0,03\sqrt{q} - R - Sd + (Par \cos h_o)$$

in cui

$h_o$  è l'altezza visibile dell'astro misurata con lo strumento;

$q$  è la quota dell'osservatore sul livello del mare, cui va aggiunta l'altezza dal suolo dell'occhio dell'osservatore;

$R$  è la rifrazione atmosferica data dalle apposite tabelle (per es. dalla tab. n. 22 delle *Tavole Nautiche* dell'I.I.M.) o, previa misurazione della pressione atmosferica e della temperatura, dalla formula di Bennet (MEEUS 2005, pp. 106-107);

$Sd$  è il semidiametro del Sole dato dalle effemeridi o dalla tab. n. 23 delle *Tavole Nautiche* dell'I.I.M. o infine calcolato con le procedure descritte in MEEUS 1990, cap. 37 ed in MEEUS 2005, cap. 55. Si tenga presente che si può sempre utilizzare, senza gravi errori, un semidiametro medio del Sole pari a  $0^\circ 16'$ ;

$Par$  è la parallasse equatoriale orizzontale media del Sole, pari a  $0^\circ 00' 08,794148''$ . Per una maggiore correttezza è opportuno moltiplicare tale valore per il coseno dell'altezza osservata  $\cos h_o$ . A rigore, la parallasse equatoriale orizzontale media va trasformata in parallasse locale in altezza, correggendola anche per la latitudine dell'osservatore, come descritto in FLORA 1987<sup>5</sup>, parr. 212-214, in MEEUS 1990, cap. 29 ed in MEEUS 2005, capp. 11 e 40. Tuttavia il calcolo della parallasse locale in altezza è indispensabile per la sola Luna. Per il Sole è sufficiente la correzione per  $\cos h_o$ .

$$h_v \downarrow \odot = 0^\circ - 0,03\sqrt{114} - 0^\circ 36' 29'' - 0^\circ 15,7' + 0^\circ 00' 08,794148'' \cos 0^\circ = -1^\circ 11' 15,33''$$

e si calcola la differenza in minuti primi  $\Delta P^m$ :

$$\Delta P^m \text{ Roccabruna}^{20} = (1 / 15) [1^\circ 10' 54,92'' / (\sin 112^\circ 54' 57,69'' \cos 41^\circ 56' 16,63'' \cos 23^\circ 26' 17,02'')] = 0h 07m 31,23s$$

$$\Delta P^m \text{ Tempio di Apollo} = (1 / 15) [1^\circ 11' 15,33'' / (\sin 112^\circ 55' 22,1'' \cos 41^\circ 56' 12,32'' \cos 23^\circ 26' 16,55'')] = 0h 07m 33,42s.$$

Attenzione!!! Nella formula  $\Delta P^m = (1 / 15) [h_v / (\sin P \cos \varphi \cos \delta)]$  l'altezza vera  $h_v$  ottenuta va inserita al numeratore, come in questo caso, con il suo valore assoluto, cioè senza l'eventuale segno negativo.

Infine  $\Delta P^m$  si aggiunge al tempo medio del tramonto vero per ottenere il tempo medio del tramonto apparente:

$$tm \downarrow \odot_{app} \text{ Roccabruna} = 20h 42m 00,32s + 0h 07m 31,24s = 20h 49m 31,56s$$

$$tm \downarrow \odot_{app} \text{ Tempio di Apollo} = 20h 42m 23,71s + 0h 07m 33,42s = 20h 49m 57,13s.$$

Stabiliti gli azimut ed i tempi medi del tramonto del Sole al solstizio d'estate, si è calcolato, con il *Metodo Nautico*<sup>21</sup> e utilizzando le Effemeridi Nautiche I.I.M. 2009, l'azimut del Sole nell'istante della fotografia scattata da Veneziano in data 21/06/2010  $tm$  20h 03m =  $Tm$  18h 03m al Tempio di Apollo:

Tm 18h = Tv		89°32,60000' +
Im 03m = Iv		00°45,80000' +
v -0,1 = pp		-00°00,00000' =
		-----
Tv		90°18'24,00'' +
$\lambda$		12°46'39,56'' =
		-----
tv		103°05'03,56''

$\delta \odot^\circ$ Tm 18h =		23°26,3' +
Im 03m d +0,1 = pp		00°00,0' +
		-----

$\delta \odot^\circ$ Tm 18h 03m 21/06/2010		23°26,3'
--	--	----------

$$\sin h \odot^\circ = \sin 23^\circ 26,3' \sin 41^\circ 56' 12,32'' + \cos 23^\circ 26,3' \cos 41^\circ 56' 12,32'' \cos 103^\circ 05' 03,56'' = 0,111319582651$$

$$h \odot^\circ = 6^\circ 23' 29''$$

<sup>20</sup> Tra le varie formule (cfr. FLORA 1987<sup>5</sup>, cap. XIV; MEEUS 1990, pp. 43-44; MEEUS 2005, cap. 15) utilizzabili per passare da  $\odot \downarrow_v$  a  $\odot \downarrow_{app}$  si è scelta questa.

<sup>21</sup> CODEBÒ 1997.

$$\cos A_{\odot} = (\sin 23^{\circ}26,3' - \sin 41^{\circ}56'12,32'' \sin 6^{\circ}23'29'') / (\cos 41^{\circ}56'12,32'' \cos 6^{\circ}23'29'') = 0,437418585307^{22}$$

$$A = 64^{\circ}03'38,55''$$

e poiché  $tv < 180^{\circ}$ , allora:

$$A_{\odot} = 360^{\circ} - 64^{\circ}03'38,55'' = 295^{\circ}56'21,45''.$$

Poiché nell'istante della foto il Sole si trovava, rispetto al fotografo, all'angolo superiore sinistro della porta, si è cercato di calcolarne l'azimut, l'altezza e l'ora nel momento in cui si fosse trovato all'angolo inferiore destro, cioè prossimo al tramonto. Per fare ciò si è dapprima calcolata l'ampiezza angolare della porta risolvendo il triangolo piano retto in cui un cateto era la distanza del fotografo dalla porta stessa, pari a m. 14,6, e l'altro cateto era l'ampiezza della porta, pari a m. 1,61. La semplice formula di trigonometria piana  $\tan \beta = m. 1,61 / m. 14,6$

ha fornito un angolo di  $6^{\circ}17'34,11''$ , che, sommato all'azimut del Sole nell'istante della foto, ha dato un azimut dell'astro all'estremità destra della porta (rispetto al fotografo) pari a  $302^{\circ}13'55,56''$ , compatibile con l'azimut dell'istante del tramonto locale pari a  $302^{\circ}19'27,34''$ . L'altezza  $90^{\circ} - c$  e l'ora  $\gamma$  sono state ricavate risolvendo il triangolo sferico, di cui sono noti i due lati  $a$  e  $b$  (rispettivamente: la distanza polare  $90^{\circ} - \delta_{\odot}$  e la colatitudine  $90^{\circ} - \varphi$ ) e l'angolo  $\alpha$  opposto ad uno di essi (cioè l'azimut), con le formule<sup>23</sup>:

$$\sin \beta = (\sin b \sin \alpha) / \sin a$$

$$\tan \frac{1}{2} c = \{[\sin \frac{1}{2} (\alpha + \beta)] / [\sin \frac{1}{2} (\alpha - \beta)]\} [\tan \frac{1}{2} (a - b)]$$

$$\cotan \frac{1}{2} \gamma = \{[\sin \frac{1}{2} (a + b)] / [\sin \frac{1}{2} (a - b)]\} [\tan \frac{1}{2} (\alpha - \beta)]$$

ottenendo l'altezza  $h_{\odot} 0^{\circ}05'41''$  e l'ora locale del tramonto vero  $tm$  19h 32m 55,31s (ora estiva 20h 32m 55,31s).

Ecco lo sviluppo del calcolo:

termini noti:

$$a = 90^{\circ} - \delta = 90^{\circ} - 23^{\circ}26,3' = 66^{\circ}33'42''$$

$$b = 90^{\circ} - \varphi = 90^{\circ} - 41^{\circ}56'12,32'' = 48^{\circ}03'47,68''$$

$$\alpha = 90^{\circ} - A = 360^{\circ} - 302^{\circ}13'55,56'' = 57^{\circ}46'04,44''$$

da cui

$$\sin \beta = (\sin 48^{\circ}03'47,68'' \sin 57^{\circ}46'04,44'') / \sin 66^{\circ}33'42'' = 0,68583569603$$

$$\beta_1 = 43^{\circ}18'04,92''$$

$$\beta_2 = 180^{\circ} - 43^{\circ}18'04,92'' = 136^{\circ}41'55,08''$$

ma poiché  $\beta$  deve avere lo stesso segno di  $a - b$ , si accetta il solo valore  $\beta_1$  (infatti  $\alpha - \beta_2$  ha segno negativo).

<sup>22</sup> La differenza tra 0,437418585307, ottenuto utilizzando i valori memorizzati dal calcolo di  $\sin h_{\odot}$ , e 0,437418591556, ottenuto dal solo calcolo di  $\cos A_{\odot}$ , è dovuta al ben noto arrotondamento dei decimali nelle calcolatrici. In entrambi i casi il coseno di  $A$  risulta uguale. Qui si è voluto dare tutti i decimali, che invece andrebbero correttamente omissi, per puro scopo didattico.

<sup>23</sup> PESCI 1911, pp. 180-189.

$$\tan \frac{1}{2} c = \{[\text{sen } \frac{1}{2} (57^\circ 46' 04,44'' + 43^\circ 18' 04,92'')] / [\text{sen } \frac{1}{2} (57^\circ 46' 04,44'' - 43^\circ 18' 04,92'')]\} \tan \frac{1}{2} (66^\circ 33' 42'' - 48^\circ 03' 47,68'') = 0,998486844599$$

$$c = 89^\circ 54' 47,65''$$

e poiché  $c = 90^\circ - h$

$$h \odot = 90^\circ - 89^\circ 54' 47,65'' = 0^\circ 05' 12,35''$$

$$\cotan \frac{1}{2} \gamma = \{[\text{sen } \frac{1}{2} (66^\circ 33' 42'' + 48^\circ 03' 47,68'')] / [\text{sen } \frac{1}{2} (66^\circ 33' 42'' - 48^\circ 03' 47,68'')]\} \tan \frac{1}{2} (57^\circ 46' 04,44'' - 43^\circ 18' 04,92'') = 0,664589957372$$

$$\gamma = {}_N P_W = 112^\circ 47' 05,19'' = 07h 31m 08,35s.$$

Si è trasformato l'angolo al polo  ${}_N P_W = tv$  in  $tm$ :

$$112^\circ 47' 05,19'' + 180^\circ - 12^\circ 46' 39,56'' = 280^\circ 00' 25,63'' = 18h 40m 01,71s + 2h = 20h 40m 01,71s \text{ (ora locale estiva).}$$

Si è poi trasformato il tempo locale del tramonto vero del Sole  $tm \downarrow \odot_v$  in tempo locale del tramonto apparente del Sole  $tm \downarrow \odot_{app}$  sommando il tempo medio del tramonto vero del Sole, la differenza  $\Delta P^m$  e l'equazione del tempo vero  $ET_v$ :

$$tm \downarrow \odot_{app} = tm \downarrow \odot_v + \Delta P^m + ET_v$$

cioè, in cifre:

$$h_v \downarrow \odot = 0^\circ - 0,03 \sqrt{114} - 0^\circ 36' 29'' - 0^\circ 15,7' + 0^\circ 00' 08,794148'' \cos 0^\circ = -1^\circ 11' 15,33''$$

$$\Delta P^m = (1 / 15) [1^\circ 11' 15,33'' / (\text{sen } 112^\circ 47' 05,19'' \cos 41^\circ 56' 12,32'' \cos 23^\circ 26,3')] = 0h 07m 32,96s$$

$$tm \downarrow \odot_{app} = 20h 40m 01,71s + 0h 07m 32,96s + 0h 01m 48,87s = 20h 49m 23,54s.$$

Questo valore è in ottimo accordo con quello calcolato con la formula  $\cos P = -\tan \varphi \tan \delta$  di cui sopra e trasformata poi in tempo medio locale del tramonto apparente  $tm \downarrow \odot_{app}$  20h 49m 57,13s.

Per confronto si è effettuato il calcolo anche con parte del *Metodo JDE*<sup>24</sup>, qui di seguito riportato, ottenendo  $A \downarrow \odot$   $295^\circ 55' 45,53''$  in data 21/06/2010  $tm$  20h 03m:

$$T = (JDE - 2451545,0) / 36525$$

$$Lm^\circ = 280,46646^\circ + 36000,76983^\circ \times (T) + 0,0003032^\circ \times (T)^2$$

$$M^\circ = 357,52911^\circ + 35999,05029^\circ \times (T) - 0,0001537^\circ \times (T)^2$$

$$C^\circ = [1,914602^\circ - 0,004817^\circ \times (T) - 0,000014^\circ \times (T)^2] \times \text{sen } M^\circ + [0,019993^\circ - 0,000101^\circ \times (T)] \times \text{sen } (2 \times M^\circ) + 0,000289^\circ \times \text{sen } (3 \times M^\circ)$$

$$Lv^\circ = Lm + C$$

$$La^\circ = Lv - 0,00569^\circ - 0,00478^\circ \times \text{sen } (125,04^\circ - 1934,136^\circ \times T)$$

$$\varepsilon^\circ = 23^\circ 26' 21,448'' - 0^\circ 00' 4680,93'' \times (T / 100) - 0^\circ 00' 01,55'' \times (T / 100)^2 + 0^\circ 00' 1999,25'' \times (T / 100)^3 - 0^\circ 00' 51,38'' \times (T / 100)^4 - 0^\circ 00' 249,67'' \times (T / 100)^5 - 0^\circ 00' 39,05'' \times (T / 100)^6 + 0^\circ 00' 07,12'' \times (T / 100)^7 + 0^\circ 00' 27,87'' \times (T / 100)^8 + 0^\circ 00' 05,79'' \times (T / 100)^9 + 0^\circ 00' 02,45'' \times (T / 100)^{10}$$

$$\delta \odot^\circ = \arcsen (\text{sen } \varepsilon \times \text{sen } La)$$

$$Ec = 0,016708634 - 0,000042037 \times (T) - 0,0000001267 \times (T)^2$$

<sup>24</sup> CODEBÒ c.s.. Dell'algoritmo *Metodo JDE* si riproduce qui la sola parte interessata dai calcoli qui utilizzati, essendo nella sua versione intera – come programma per calcolatrici – più complesso perché destinato anche ad altri usi.

$$ET_m = \{[\tan(\varepsilon/2)]^2 \times \sin(2 \times Lm) - 2 \times Ec \times \sin M + (4 \times Ec) \times [\tan(\varepsilon/2)]^2 \times \sin M \times \cos(2 \times Lm) - (1/2) \times [\tan(\varepsilon/2)]^4 \times \sin(4 \times Lm) - (5/4) \times (Ec)^2 \times \sin(2 \times M)\} \times 180^\circ / 3,14159265359 / 15$$

$$H\odot^{25} = [(UTC - 12h00m00s) \times 15] - (\pm\lambda^\circ) + (ET^{26} \times 15)$$

$$h\odot^\circ = \arcsin(\sin \varphi \times \sin \delta\odot + \cos \varphi \times \cos \delta\odot \times \cos H\odot)$$

$$A\odot_1^\circ = \arcsin[(\sin \delta\odot - \sin \varphi \times \sin h\odot) / (\cos \varphi \times \cos h\odot)]$$

$$A\odot^\circ = A\odot_1 \text{ se } H\odot > 180^\circ$$

$$A\odot^\circ = 360^\circ - A\odot_1 \text{ se } H\odot < 180^\circ$$

dove:

$T$ : JDE<sup>27</sup>

$Lm$ : longitudine media del Sole

$M$ : anomalia media del Sole

$C$ : equazione del centro del Sole

$Lv$ : longitudine vera del Sole

$La$ : longitudine apparente del Sole

$Ec$ : eccentricità dell'orbita terrestre.

Successivamente, in data 01-03/10/2010, sono stati misurati *in loco*, con lo squadro sferico graduato e l'inclinometro, gli assi di Roccabruna e del Tempio di Apollo, ottenendo i seguenti risultati:

1) Roccabruna 01/10/2010  $tm$  12h 40m 05s,  $\varphi$  GPS<sup>28</sup> 41°56'17"N,  $\lambda$  GPS 12°46'23"E,  $q$ . GPS m. 103,  $ho$  -1°30',  $Ai$  59,2<sup>s</sup> = 53°16'48",  $Ab$  302°30'<sup>29</sup>:

$$tm \ 12h = Tm \ 10 = Tv \quad 332^\circ 34,3' +$$

$$Im \ 40m \ 05s = Iv \quad 10^\circ 01,3' +$$

$$v \ +0,2 = pp \quad 0^\circ 00,1' =$$

$$Tv \quad 342^\circ 35' 42'' +$$

$$\lambda \quad 12^\circ 46' 23'' =$$

$$tv \quad 355^\circ 22' 05''$$

$$\delta\odot \quad -3^\circ 13,4' +$$

$$Im \ 40m \ d \ -1,0 = pp \quad -0^\circ 00,7' =$$

$$\delta\odot \quad -3^\circ 14' 06''$$

<sup>25</sup>  $H\odot$  è l'angolo orario del Sole, ossia il suo tempo vero  $Tv$  (a Greenwich). Si può indicarlo indifferentemente come  $H\odot$  o  $Tv\odot$ .

<sup>26</sup>  $ET$  qui è espressa in ore, minuti e secondi di tempo; moltiplicata per 15 si trasforma in gradi, minuti e secondi d'arco.

<sup>27</sup>  $JDE$  è il Giorno Giuliano, ricavato dalle effemeridi dell'anno o calcolato con gli algoritmi descritti in MEEUS 1990, cap. 3 ed in MEEUS 2005, cap. 7.

<sup>28</sup> Il GPS utilizzato in questa campagna è un Magellan 320.

<sup>29</sup>  $Ab$ : azimut bussola, cioè magnetico. Si è utilizzata una bussola prismatica Wilkie.

$$\begin{array}{r}
\delta_{\odot} \qquad \qquad \qquad -3^{\circ}13,4' + \\
\text{Im } 41\text{m d } -1,0 = \text{pp} \qquad -0^{\circ}00,7' = \\
\hline
\delta_{\odot} \qquad \qquad \qquad -3^{\circ}14'06''
\end{array}$$

$$\text{sen } h_{\odot} = \text{sen } -3^{\circ}14'06'' \text{ sen } 41^{\circ}56'17'' + \text{cos } -3^{\circ}14'06'' \text{ cos } 41^{\circ}56'17'' \text{ cos } 355^{\circ}22'05'' = 0,702542227749$$

$$h_{\odot} = 44^{\circ}37'52,77''$$

$$\text{cos } A_{\odot} = (\text{sen } -3^{\circ}14'06'' - \text{sen } 41^{\circ}56'17'' \text{ sen } 44^{\circ}37'52,77'') / (\text{cos } 41^{\circ}56'17'' \text{ cos } 44^{\circ}37'52,77'') = -0,993561316672$$

$$A_{\odot} \qquad \qquad \qquad 173^{\circ}29'40,8'' -$$

$$A_i \qquad \qquad \qquad 53^{\circ}16'48'' =$$

$$A_a \qquad \qquad \qquad 120^{\circ}12'52,8'' +$$

$$\text{reciproco} \qquad \qquad \qquad 180^{\circ}00'00,0'' =$$

$$A_a \qquad \qquad \qquad 300^{\circ}12'52,8''$$

Questo azimut corrisponde, a meno di circa 2°, a quello del tramonto del Sole al solstizio d'inverno. L'asse di Roccabruna giace quindi sull'asse solstiziale estivo a meno di circa 2°. Non esiste qui possibilità di allineamento verso la levata del Sole al solstizio d'inverno poiché questa direzione è occlusa da un'ampia nicchia sulla quale si proiettano suggestivamente i raggi solari al tramonto del solstizio estivo.

2) Tempio di Apollo 02/10/2010 *tm* 10h 42m 13s,  $\varphi$  GPS 41°56'12"N,  $\lambda$  GPS 12°46'40"E, *q*. GPS m. 119, *ho* (?)<sup>30</sup>, *Ai* 18,5<sup>g</sup> = 16°39', *Ab* 295°:

$$\begin{array}{r}
\text{tm } 10\text{h} = \text{Tm } 8\text{h} = \text{Tv} \qquad \qquad \qquad 302^{\circ}38,7' + \\
\text{Im } 42\text{m } 13\text{s} = \text{Iv} \qquad \qquad \qquad 10^{\circ}33,5' + \\
v +0,2 = \text{pp} \qquad \qquad \qquad 0^{\circ}00,1' = \\
\hline
\end{array}$$

$$\begin{array}{r}
\text{Tv} \qquad \qquad \qquad 313^{\circ}12'18'' + \\
\lambda \qquad \qquad \qquad 12^{\circ}46'40'' = \\
\hline
\end{array}$$

$$tv \qquad \qquad \qquad 325^{\circ}58'58''$$

$$\begin{array}{r}
\delta_{\odot} \qquad \qquad \qquad -3^{\circ}34,7' + \\
\text{Im } 42\text{m d } -1,0 = \text{pp} \qquad \qquad \qquad -0^{\circ}00,7' = \\
\hline
\end{array}$$

$$\delta_{\odot} \qquad \qquad \qquad -3^{\circ}35'24''$$

<sup>30</sup> La presenza di alberi ha impedito di misurare l'altezza dell'orizzonte visibile *ho*.



$$\text{sen } h_{\odot} = \text{sen } -3^{\circ}35'24'' \text{ sen } 41^{\circ}56'12'' + \text{cos } -3^{\circ}35'24'' \text{ cos } 41^{\circ}56'12'' \text{ cos } 325^{\circ}58'58'' = 0,573525753637$$

$$h_{\odot} 34^{\circ}59'47,24''$$

$$\text{cos } A_{\odot} = (\text{sen } -3^{\circ}35'24'' - \text{sen } 41^{\circ}56'12'' \text{ sen } 34^{\circ}59'47,24'') / (\text{cos } 41^{\circ}56'12'' \text{ cos } 34^{\circ}59'47,24'') = -0,731740843936^{31}$$

$$\begin{array}{r} A_{\odot} \quad 137^{\circ}01'57,12'' - \\ Ai \quad 16^{\circ}39'00,00'' = \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} Aa \quad 120^{\circ}22'57,12'' + \\ \text{reciproco} \quad 180^{\circ}00'00,00'' = \\ \hline \end{array}$$

$$Aa \quad 300^{\circ}22'57,12''$$

3) Tempio di Apollo 02/10/2010 *tm* 10h 44m 45s,  $\varphi$  GPS 41°56'12"N,  $\lambda$  GPS 12°46'40"E, *q*. GPS m. 119, *ho* (?)<sup>32</sup>, *Ai* 19,55<sup>s</sup> = 17°35'42'', *Ab* 296°:

$$\begin{array}{r} tm \ 10h = Tm \ 8h = Tv \quad 302^{\circ}36,7' + \\ Im \ 44m \ 45s = Iv \quad 11^{\circ}11,3' + \\ v \ +0,2 = pp \quad 0^{\circ}00,1' = \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} Tv \quad 313^{\circ}48'06'' + \\ \lambda \quad 12^{\circ}46'40'' = \\ \hline \end{array}$$

$$tv \quad 326^{\circ}34'46''$$

$$\begin{array}{r} \delta_{\odot} \quad -3^{\circ}34,7' + \\ Im \ 44m \ d \ -1,0 = pp \quad -0^{\circ}00,7' = \\ \hline \end{array}$$

$$\delta_{\odot} \quad -3^{\circ}35'24''$$

$$\text{sen } h_{\odot} = \text{sen } -3^{\circ}35'24'' \text{ sen } 41^{\circ}56'12'' + \text{cos } -3^{\circ}35'24'' \text{ cos } 41^{\circ}56'12'' \text{ cos } 326^{\circ}34'46'' = 0,57781760996^{33}$$

$$h_{\odot} = 35^{\circ}17'49,89''$$

$$\text{cos } A_{\odot} = (\text{sen } -3^{\circ}35'24'' - \text{sen } 41^{\circ}56'12'' \text{ sen } 35^{\circ}18'49,99'') / (\text{cos } 41^{\circ}56'12'' \text{ cos } 35^{\circ}18'49,99'') = -0,739174208053^{34}$$

$$\begin{array}{r} A_{\odot} \quad 137^{\circ}39'40,03'' - \\ Ai \quad 17^{\circ}35'42,0'' = \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} Aa \quad 120^{\circ}03'58,03'' + \\ \text{reciproco} \quad 180^{\circ}00'00,00'' = \\ \hline \end{array}$$

$$Aa \quad 300^{\circ}03'58,03''$$

<sup>31</sup> Cfr. nota 24.

<sup>32</sup> La presenza di alberi ha impedito di misurare l'altezza dell'orizzonte visibile *ho*.

<sup>33</sup> Cfr. nota 24.

<sup>34</sup> Cfr. nota 24.

Si è quindi calcolata la media tra i due azimut del Tempio di Apollo, ottenendo:

$300^{\circ}13'27,57''$  con  $\sigma \pm 0,16$ .

L'azimut  $300^{\circ}13'27,57''$  corrisponde all'asse passante per il centro della porta del Tempio ed il suo reciproco  $120^{\circ}13'27,57''$  per quello passante per il centro della porta diametralmente opposta, che dava accesso alla cosiddetta Zooteca. In tale direzione Giuseppe Veneziano ed Elena Salvo videro al solstizio d'inverno del 2009 sorgere il Sole nella cornice delle due porte, ma non poterono né fotografarlo né misurarne l'istante.

Tale azimut  $120^{\circ}13'27,57''$  corrisponde bene, a meno di circa  $2^{\circ}$ , a quello del Sole all'alba del solstizio d'inverno del 2009:

$\cos nZw \downarrow \odot \text{ al Tempio di Apollo} = \sin -23^{\circ}26,3' / \cos 41^{\circ}56'12,32'' = 122^{\circ}19'27,34''$ .

Se ne può dedurre, sia dalla fotografia del 21/06/2010 che dalle misure del 02/10/2010, che l'asse delle due porte del Tempio di Apollo giacciono sull'asse solstiziale a meno di circa  $2^{\circ}$  e che pertanto la levata ed il tramonto dell'astro diurno ai Solstizi è visibile inquadrato nella loro cornice.

Nella campagna di misurazioni dell'ottobre 2010 sono stati misurati e calcolati, con squadro sferico, inclinometro e *Metodo Nautico*, anche gli azimut dello sbocco esterno dei due condotti D ed E e l'azimut del cosiddetto "miraglio" di Roccabruna, assumendo le coordinate  $\varphi 41^{\circ}56'16,63''N$ ,  $\lambda 12^{\circ}46'23,13''E$ ,  $q$ . m. 115. Non sono stati misurati gli azimut dei condotti A, B e C sia perché irraggiungibili senza scale o corde sia perché giacenti sugli assi di Roccabruna e pertanto conformi ad essi.

Lo sbocco esterno del condotto D è risultato essere  $84^{\circ}30'42,91''$  che, con un'altezza dell'orizzonte visibile  $ho 8,5^{\circ}$ , sottende una declinazione di  $\delta \odot 9^{\circ}16'58,27''$ , corrispondente ai giorni 14/04 e 28/08 del 2010 (rilievo: 02/10/2010 *tm* 16h 52m 15s,  $Ai 21,65^{\circ} = 19^{\circ}29'06''$ ,  $Ab 81^{\circ}$ ).

Quello del condotto E è risultato essere  $155^{\circ}01'08,43''$  che, con un'altezza dell'orizzonte visibile  $ho 1,5^{\circ}$ , sottende una declinazione  $\delta -41^{\circ}$ , non compatibile né con il Sole né con la Luna (rilievo: 02/10/2010 *tm* 17h 30m 34s,  $Ai 92^{\circ} = 82^{\circ}48'$ ).

Nella tabella n. 3 diamo l'altezza del Sole e l'istante del suo passaggio all'azimut dello sbocco del condotto A ai Solstizi ed agli Equinozi del 2010, calcolato con il programma Punto Nave di A. ed R. Chiesa<sup>35</sup>. Evidentemente gli orari del passaggio per tutti gli altri giorni dell'anno si collocano tra quello del solstizio d'estate e quello del solstizio d'inverno.

Tabella n. 3: il Sole al condotto A

Data	Altezza	<i>Tm</i> passaggio	<i>Tm</i> passaggio
equinozio di primavera	$44^{\circ}17,3'$	13h 40m 00s	12h 40m 00s
solstizio d'estate	$69^{\circ}19,3'$	12h 55m 04s	11h 55m 04s
equinozio d'autunno	$43^{\circ}47,3'$	13h 25m 56s	12h 25m 56s
solstizio d'inverno	$18^{\circ}34,7'$	14h 11m 53s	13h 11m 53s

<sup>35</sup> A. ed R. CHIESA 2004.

Le misure del “miraglio” da noi prese sono risultate un po’ diverse da quelle utilizzate da Vittorio Castellani<sup>36</sup>. Esso si trova in un corridoio largo m. 1,11 all’altezza di m. 1,956 dal livello attuale del suolo. Ha un azimut di 210°; è lungo m. 6, largo m. 0,57, alto m. 0,61 ed un’inclinazione di circa 15° ~ 16°. Per un occhio posto a m. 1,68 dal suolo l’inclinazione del “miraglio” risulta compresa tra un minimo di 19° ed un massimo di 26°, cioè meno della misura di circa 30° utilizzata da Castellani. Con tali dati si evince che l’area di cielo inquadrata dalla sua apertura è compresa tra le declinazioni  $\delta -23^\circ$  e  $\delta -16,5^\circ$ . Utilizzando un’inclinazione media di 22,5° (sempre per un occhio posto a m. 1,68 dal suolo) si ottiene una declinazione  $\delta -19,8^\circ$ . Questi valori ci dimostrano che l’area del cielo compresa tra le costellazioni di *Aquila*, *Sagittarius*, *Scutum* e *Capricornus* – cioè l’area in cui si trovava la costellazione o, forse meglio, la stella di Antinoo – è oggi ed era anche all’epoca di Adriano visibile nel “miraglio” in primavera/estate.

Con l’occasione delle misure effettuate nei giorni 01-02/10/2010 si è misurata *in loco* la declinazione magnetica tramite le differenze tra gli azimut astronomici e gli azimut bussola rilevati:

Tabella n. 4: le declinazioni magnetiche

Località	Azimut astronomico	Azimut magnetico	Differenza
Roccabruna	300°12’52,8”	302°30’	-2°17’07,2”
Tempio di Apollo	300°13’27,57”	295°	5°13’27,57”
Condotto D	84°30’42,91”	81°	3°30’42,91”
Condotto E	155°01’08,43”	156°	-0°58’51,57”

Come si vede, la declinazione magnetica – che dovrebbe essere di +2°30’<sup>37</sup> al 2010 secondo la Carta Magnetica d’Italia 2005 dell’I.G.M. – ha invece notevoli variazioni: a Roccabruna ed al condotto E risulta occidentale e negli altri due siti orientale, ma con un valore assoluto ben superiore a quello previsto. Ciò dimostra, ancora una volta, che le misure magnetiche non sono affidabili e vanno utilizzate con prudenza.

## B) 125 d.C.

Quasi tutti i calcoli sono stati ripetuti per la declinazione che il Sole aveva alle stesse date del 125 d.C., usando il *Metodo JDE*<sup>38</sup> poiché mancano, ovviamente, effemeridi per quell’epoca. La declinazione è stata ridotta al 125 d.C. mediante la formula di Laskar<sup>39</sup>. Nel 125 d.C. il solstizio d’estate si verificava il 23 giugno con una declinazione  $\delta \odot 23^\circ 40' 45,65''$ .

Nelle tabelle nn. 5 e 6 sono dati gli azimut  $A \odot$  e i tempi veri  $tv$  di levata e tramonto del Sole a Roccabruna ed al Tempio di Apollo per il 125 d.C..

<sup>36</sup> CASTELLANI 2006, pp. 9-18. Diversi indizi ci fanno pensare che Castellani non abbia mai personalmente effettuato misure a Roccabruna ma abbia utilizzato quelle di altri autori.

<sup>37</sup> Il segno – indica la declinazione occidentale, il segno + quella orientale.

<sup>38</sup> CODEBÒ c.s..

<sup>39</sup> MEEUS 2005, pp. 147-148.

Tabella n. 5: Roccabruna

Data	Azimut levata	Azimut tramonto	tv levata	tv tramonto
equinozio di primavera	90°	270°	6h	18h
solstizio d'estate	57°19'22,48"	302°40'45,65"	4h 27m 11,08s	19h 32m 48,92s
equinozio d'autunno	90°	270°	6h	18h
solstizio d'inverno	122°40'37,52"	237°19'22,48"	7h 32m 48,92s	16h 27m 11,08s

Tabella n. 6: Tempio di Apollo

Data	Azimut levata	Azimut tramonto	tv levata	tv tramonto
equinozio di primavera	90°	270°	6h	18h
solstizio d'estate	57°19'24,96"	302°40'35,04"	4h 27m 11,32s	19h 32m 48,68s
equinozio d'autunno	90°	270°	6h	18h
solstizio d'inverno	122°40'35,04"	237°19'24,96"	7h 32m 48,69s	16h 27m 11,32s

Assumendo con molta incertezza l'equazione del tempo calcolata per le date del 125 d.C. con la formula di Smart, l'ora media del tramonto vero pare fosse, sia a Roccabruna che al Tempio di Apollo,  $tm$  19h 39m, mentre l'ora media del tramonto apparente  $tm$  19h 46m.

I dati relativi alla fotografia, riportati al 125 d.C. e calcolati con il *Metodo JDE*, sono quindi:

21 giugno del 125 d.C.  $tm$  19h 03m:  $A \downarrow \odot 296^\circ 52' 42,95''$ ,  $\delta \odot 23^\circ 40' 45,66''$ .

La risoluzione del triangolo sferico con la declinazione  $\delta \odot_{23/06/125 \text{ d.C. } tm 20h 03m} 23^\circ 40' 45,66''$  dà i seguenti risultati:

$h \odot -0^\circ 27' 41,17''$

$nPw \odot = tv 113^\circ 56' 30,29''$

$tm \downarrow \odot_m 19h 53m 32,98s$  (corrispondente all'ora estiva contemporanea 20h 53m 32,98s).

Quest'ultima, senza tenere conto di *ET* per i motivi sopra esposti, doveva essere l'ora in cui il Sole, al solstizio d'estate del 125 d.C., era visto tramontare sull'orizzonte all'angolo inferiore destro della porta del Tempio di Apollo.

## Conclusioni

Si può quindi affermare con certezza che gli assi di Roccabruna e del Tempio di Apollo giacciono sull'asse solstiziale a meno di circa 2° e che questa piccola differenza è stata probabilmente voluta allo scopo d'inquadrare l'intero arco discendente del Sole al tramonto solstiziale estivo entro le cornici delle porte.

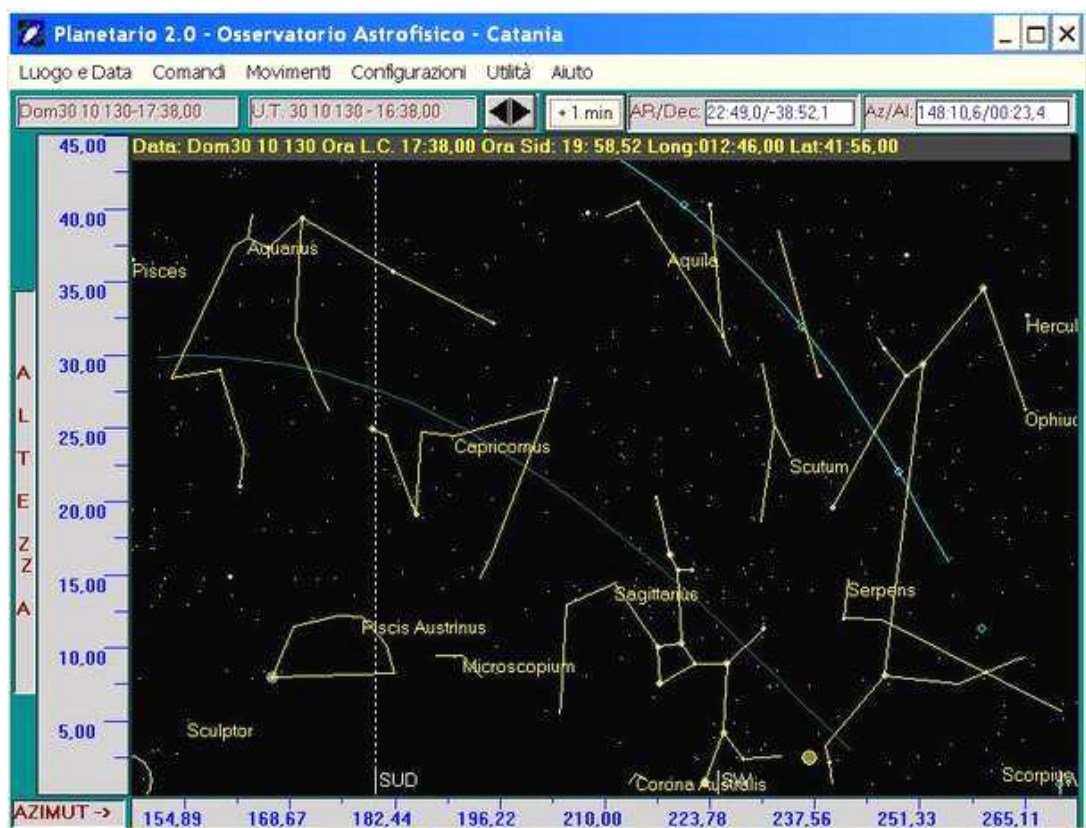
Si noti che attraverso quelle del Tempio di Apollo è visibile nella direzione opposta anche il sorgere del Sole al solstizio d'inverno, mentre a Roccabruna ciò è impedito, come si è già detto, dall'assenza di aperture in direzione 120°.

I condotti A, B, C e lo sbocco comune all'interno della cupola dei condotti D ed E giacciono sugli assi ortogonali di Roccabruna e perciò ne hanno necessariamente gli stessi

orientamenti. Riteniamo pertanto che non abbiano alcuna funzione astronomica intenzionale e che assolvano invece funzioni diverse, forse di natura architettonica<sup>40</sup>. Il condotto A sottende tutti i fenomeni astronomici solari perché il Sole passa al suo azimut tutti i giorni dell'anno; di conseguenza non ne sottende intenzionalmente nessuno. Il condotto B giace sullo stesso asse dell'ingresso di Roccabruna (300°) ed è quindi attraversato dai raggi solari esattamente come quest'ultimo. Il condotto C giace al di fuori dell'amplitudine ortiva ed occasa del Sole. Infine lo sbocco comune dei condotti D ed E – l'unico che avrebbe potuto avere una funzione astronomica intenzionale, cioè quella di permettere ai raggi solari di penetrare entro l'edificio all'alba del solstizio invernale come avviene al Tempio di Apollo – si biforca ad Y nei due condotti D ed E e non può quindi assolvere a questa funzione.

Diverso discorso per il cosiddetto “miraglio”: oggi come all'epoca di Adriano, davanti ad esso appare effettivamente l'area di cielo compresa tra *Aquila*, *Scutum*, *Sagittarius* e *Capricornus*, comunemente indicata come sede della costellazione di Antinoo. Si tratta di un'area di cielo con stelle molto deboli ma molto fitte perché in direzione del centro galattico. Ciò accade in primavera/estate, mentre in altre ore della notte ed in altre stagioni sono visibili altre costellazioni. Ci pare però necessario potere collegare questo fenomeno con qualche data importante della vita di Antinoo e l'unica che ci è nota è quella della morte: 30 ottobre del 130 d.C. Abbiamo perciò voluto verificare, tramite i programmi CyberSky e Planetario 2.0, cosa accade a questa data: la stella o la costellazione di Antinoo passava all'azimut del “miraglio” (210°) alle ore 17:00 locali circa, praticamente al tramonto del Sole e quindi all'inizio dei crepuscoli (foto n. 1). Poiché in quest'area vi sono solo stelle di debole magnitudine, ai limiti della visibilità ad occhi nudo, esse non sarebbero state visibili che alla fine del crepuscolo astronomico (circa alle ore 18:45 nel 130 d.C.), quando cioè quest'area di cielo era ormai uscita dalla cornice dell'apertura (foto n. 2)<sup>41</sup>.

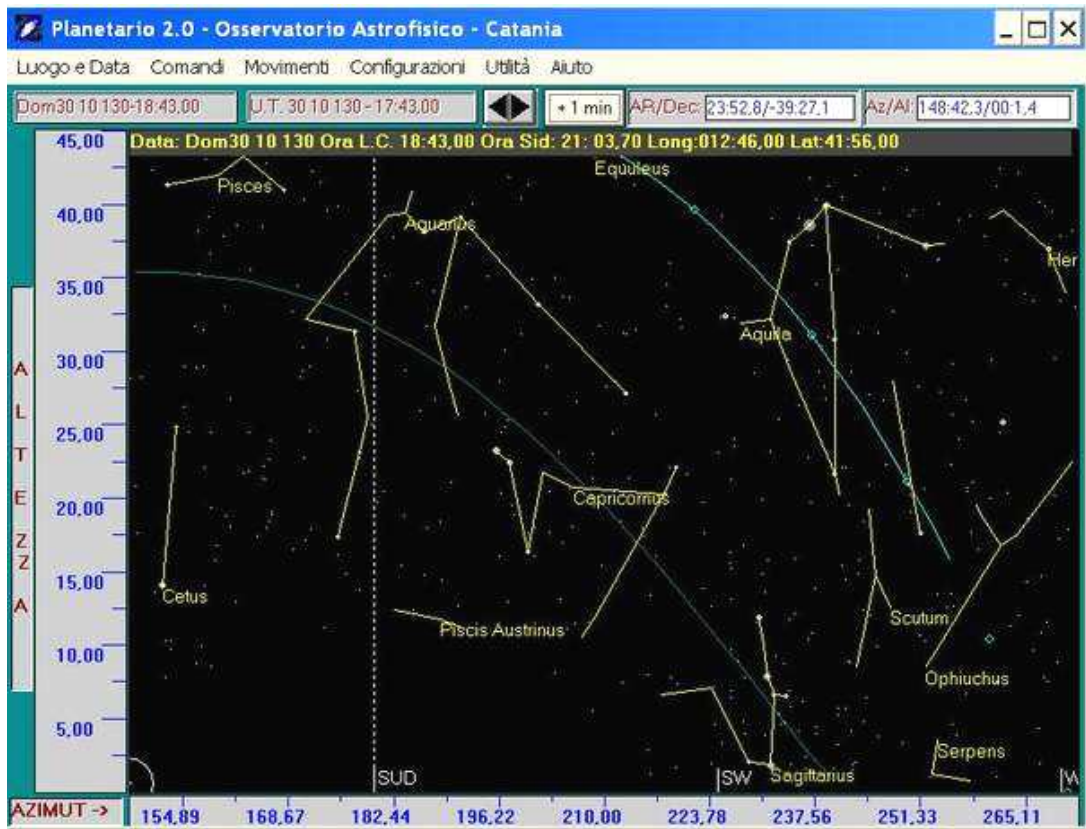
Foto n. 1



<sup>40</sup> L'architetto Maria d'Amico ha ipotizzato che potessero servire per consentire la dilatazione della cupola. La ringraziamo per questo suggerimento.

<sup>41</sup> Ringraziamo il dott. Piero Massimino, dell'Osservatorio Astronomico di Catania, per averci consentito di riprodurre le immagini ottenute con il suo programma Planetario 2.0.

Foto n. 2



L'area appariva nel centro del “miraglio” in prossimità del tramonto del Sole, che avveniva alle ore 17:09. Alle ore 17:38 terminava il crepuscolo civile e diventavano visibili le stelle di prima grandezza; alle ore 18:11 terminava il crepuscolo nautico e diventavano visibili le stelle di terza grandezza ed alle ore 18:43 terminava il crepuscolo astronomico e diventavano visibili le stelle di sesta grandezza. Poiché la “Costellazione di Antinoo” era formata da stelle molto deboli che diventavano visibili solo verso la fine del crepuscolo astronomico – cioè quando nel “miraglio” l'area non era più visibile alla data del 30 ottobre del 130 d.C. – essa, benché presente, non era visibile. Ma se, invece di una costellazione ad Antinoo fosse stata dedicata una stella ed essa fosse stata una *nova* di forte luminosità, come la 1918 citata da Castellani<sup>42</sup>, avrebbe potuto essere ben visibile appena dopo il tramonto del Sole, alla stessa guisa di Venere Vespertina. Resta quindi da verificare se nel 130 d.C. o poco dopo si fosse manifestata in questa zona del cielo una luminosissima *nova*.

Un'ulteriore possibilità è che la data in funzione della quale avrebbe potuto essere orientato il “miraglio” fosse quella dell'apoteosi del defunto, molto più importante di quella della morte<sup>43</sup>. Al momento in cui scriviamo questa data ci è però sconosciuta. Se nel prosieguo delle nostre ricerche perverremo a conoscerla, verificheremo quali asterismi erano visibili attraverso il “miraglio”.

In sintesi, bisognerebbe, nell'ordine:

- 1) accertare se il portico esterno antistante consentiva la visione del cielo o la impediva;

<sup>42</sup> CASTELLANI 2006.

<sup>43</sup> Ringraziamo il dott. F. M. Gambari, Soprintendente per i Beni Archeologici dell'Emilia-Romagna e *ad interim* per quelli della Liguria, per averci dato questo suggerimento in occasione del convegno S.I.A. svoltosi a Bologna e Marzabotto in data 28-30/10/2011.

- 2) accertare se il “miraglio” fu costruito dopo la morte di Antinoo<sup>44</sup>;
- 3) accertare se dopo la morte del giovane amasio si manifestò in quest’area del cielo una luminosa stella *nova*;
- 4) accertare quale fu la data della sua apoteosi.

In assenza di queste quattro condizioni non è sostenibile che il “miraglio” avesse come scopo l’inquadramento della *stella* o della *costellazione di Antinoo*, che per altro era comunque visibile attraverso l’attigua ampia finestra SW<sup>45</sup>.

## Bibliografia

- AA.VV. (2005), *Carta magnetica d’Italia*, I.G.M., Firenze.
- AA.VV. (2009), *Effemeridi Nautiche*, I.I.M., Genova.
- AA.VV. (2010), *Effemeridi Nautiche*, I.I.M., Genova.
- CASTELLANI VITTORIO (2006), *Tivoli: Villa Adriana, Roccabruna e Astronomia*, Rivista Italiana di Archeoastronomia, IV.
- CHIESA ARTURO E RAFFAELE (2004), *Punto nave facile col computer*, Incontri Nautici, Roma.
- CINQUE GIUSEPPINA - LAZZERI ELISABETTA (2010), *Roccabruna: un’architettura adrianea a immagine del cielo*, in: *Mensura Caeli*, Atti dell’VIII Convegno Nazionale della Società Italiana di Archeoastronomia S.I.A., UnifePress, Ferrara.
- CODEBÒ MARIO (1997), *Problemi generali dell’indagine archeoastronomica*, Atti del I Seminario A.L.S.S.A. di Archeoastronomia, Genova.
- CODEBÒ MARIO (c.s.), *L’algoritmo giuliano del Sole*, Atti del XII seminario ALSSA di Archeoastronomia, Genova.
- FLORA FERDINANDO (1987<sup>5</sup>), *Astronomia Nautica*, Hoepli, Milano.
- Meeus Jean (1990), *Astronomia con il computer*, Hoepli, Milano, originale in inglese: *Astronomical Formulae for Calculators*, Willmann-Bell inc., Richmond, Virginia, U.S.A., 1988<sup>4</sup>.
- MEEUS JEAN (2005), *Astronomical Algorithms*, Willmann-Bell inc., Richmond, Virginia, U.S.A.
- PANNUNZIO RENATO (2002), *Moti della Terra e scale di tempo nell’astronomia moderna*, Rapporto Interno O.A.To., Pino Torinese (TO).
- PESCI GIUSEPPE (1911), *Trigonometria piana e sferica*, Raffaello Giunti editore, Livorno
- SMART WILLIAM MARSHALL (1977<sup>6</sup>), *Textbook on Spherical Astronomy*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- ZAGAR FRANCESCO (1984), *Astronomia sferica e teorica*, Zanichelli, Bologna.

---

<sup>44</sup> La presenza di materiali costruttivi di data anteriore al 130 d.C. fornisce unicamente un termine *ante quem*, perché essi potrebbero essere stati reimpiegati successivamente.

<sup>45</sup> Ci sembra assai più probabile, allo stato attuale, che il cosiddetto “miraglio” avesse in realtà la funzione di illuminare il breve tratto di corridoio in cui si apre.