

La macchina di Anticitera



Roberto Guidorzi



- Cronologia
- Struttura e funzioni
- Ingegnerizzazione
- Chi ha progettato e costruito questa macchina?
- Alcune considerazioni



CRONOLOGIA

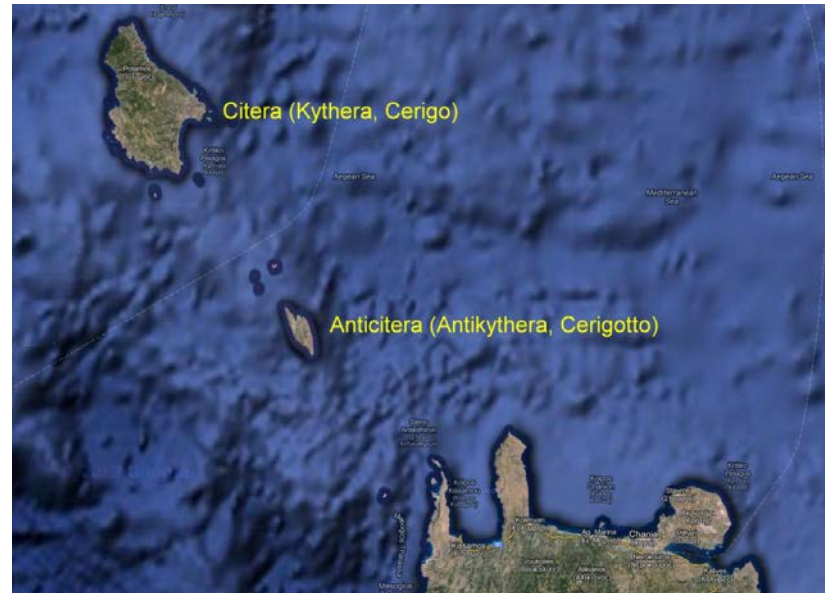
80 a.C. – Una grossa nave da carico romana, con una stazza intorno alle 300 tonnellate, una *corbita*, fa naufragio. Proviene da Rodi ed è diretta a Roma e segue una rotta che passa a sud dell'isola di Anticitera, alternativa a quella che richiede di doppiare capo Malea; forse il comandante cercava una maggior protezione dai pirati dato che la nave trasportava un carico di grande valore che includeva opere d'arte e monete d'argento.



Una burrasca determinò, probabilmente, uno spostamento del carico e la nave finì su fondali profondi una quarantina di metri e battuti da correnti di forte intensità.



1900 (settimana di Pasqua) – Un battello greco di pescatori di spugne trova scampo da una bufera gettando le ancore nelle vicinanze della piccola isola di Anticitera.



È qui che uno dei marinai, Elias Stadiatos, si immerge utilizzando uno scafandro da palombaro per recuperare parte del carico di spugne caduto in acqua e trova una delle statue che costituivano il carico della *corbita*. La presenza del relitto non era del tutto ignota agli abitanti del vicino villaggio di Simi che lo avevano già individuato; alcuni piccoli bronzi erano, in effetti, già stati immessi sul mercato ad Alessandria ed anche le cinque ancore di piombo della nave non erano più presenti.

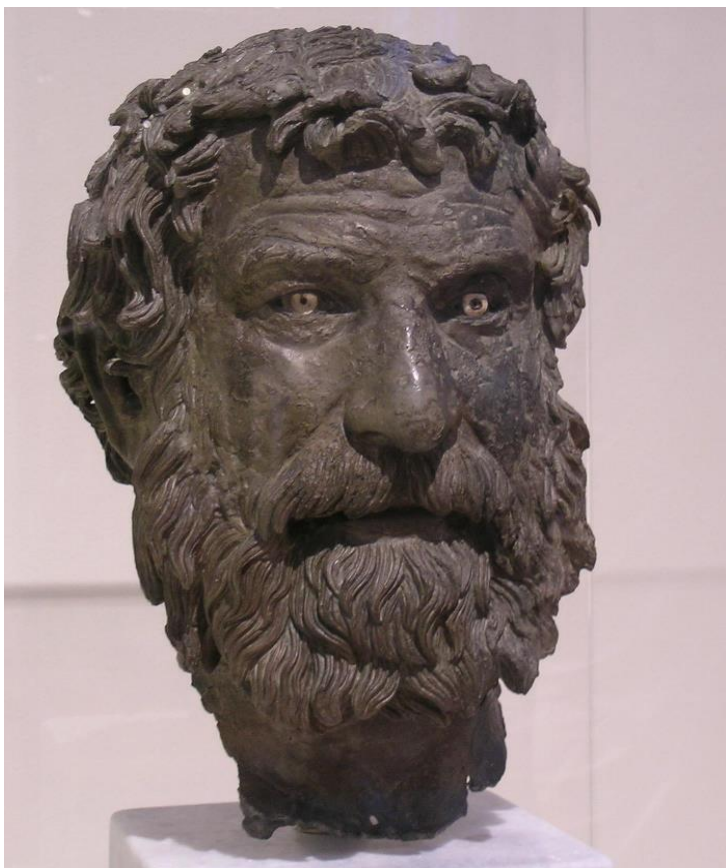


Il comandante Kondos informò il governo greco della presenza del relitto e venne ingaggiato, assieme al suo equipaggio ed al suo battello per il recupero del carico.



1901 (settembre). Le operazioni di recupero si rivelarono impegnative e pericolose (uno dei marinai ne fu vittima) e non poterono giovare né delle tecnologie né delle metodologie attuali. La campagna di recupero si conclude con risultati straordinari sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Inizia, presso il Museo Archeologico Nazionale di Atene il lavoro di catalogazione e restauro.





Alcuni dei bronzi trasportati: l'efebo di Anticitera e il filosofo di Anticitera



1902 (maggio) – Spyridon Stais, esaminando alcuni frammenti si accorge di un oggetto che presenta tracce di scale ed ingranaggi ed era originariamente racchiuso in una cassetta di legno. Presenta forti tracce di corrosione ed è in buona parte inglobato in calcificazioni e sedimentazioni dovute ad animali marini.



Inizialmente costituito da un unico blocco, si era poi frammentato in varie parti. Stais comprende subito che si tratta dei frammenti di un meccanismo, inizialmente considerato un astrolabio, strumento di navigazione descritto però per la prima volta solo nel 625 d.C.





La Macchina di Anticitera

Il frammento che aveva attirato l'attenzione di Stais conteneva iscrizioni subito riconosciute come antiche. L'epigrafo Benjamin Dean Meritt ritenne che la forma delle lettere consentisse di affermare che non potessero essere ricondotte a date antecedenti il 100 a.C. né a date più recenti dei tempi di Cristo. Tale valutazione era supportata dal contenuto delle scritte sia per i termini usati sia per il loro significato astronomico, risalente a quel periodo.

1905 – Albert Rehm interpreta per primo il meccanismo come una sorta di planetario.

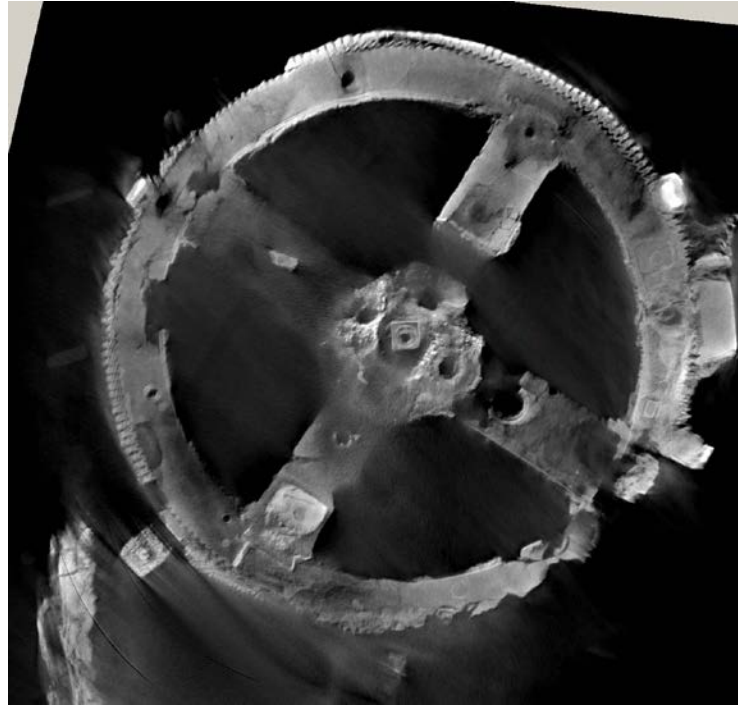
1951 – Il fisico Derek De Solla Price visita il Museo Archeologico Nazionale di Atene per effettuare una analisi dei frammenti del meccanismo di Anticitera.

1959 – Price, conosce bene le tecniche di costruzione degli astrolabi medievali e, dopo 8 anni di studi, pubblica le proprie conclusioni secondo le quali i frammenti recuperati facevano parte di un complesso meccanismo simile ad un orologio astronomico. Queste conclusioni non vennero accettate dalla maggior parte degli studiosi che opposero la teoria di un meccanismo recente caduto casualmente sul relitto.

1971 – Price e il fisico nucleare Charalampos Karakalos effettuano radiografie ai raggi X e gamma degli 82 frammenti.



1974 – Price pubblica un lungo lavoro (70 pagine) nel quale descrive la sua interpretazione del funzionamento del dispositivo.



1988 – Allan George Bromley ottiene, assieme a Michael Wright, nuove e più accurate immagini radiografiche, fornisce una possibile spiegazione del ruolo di due ingranaggi che De Solla Price non era riuscito ad interpretare e costruisce un modello funzionante della macchina.



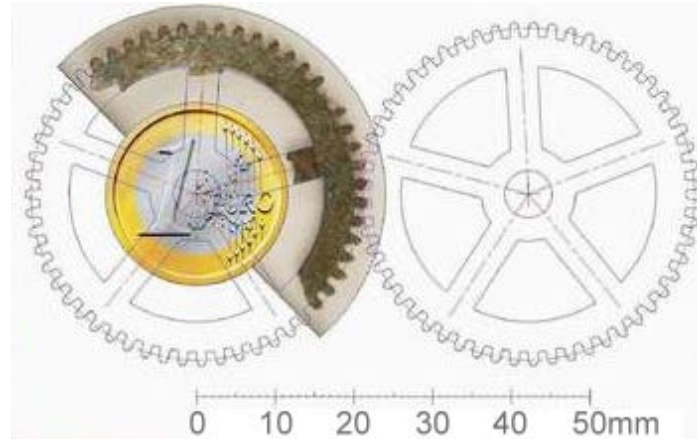
2002-2006 – Michael Wright progetta, realizza ed utilizza un sistema di tomografia per ottenere immagini di sezioni della macchina, sviluppa ulteriormente le interpretazioni precedenti e realizza un modello funzionante che indica anche la posizione dei pianeti.



2005 – Viene varato il progetto Antikythera Mechanism Research Project, una collaborazione internazionale tra varie università. Viene annunciato il ritrovamento di ulteriori frammenti del meccanismo.



2008 – Su *Nature* viene pubblicato un articolo che approfondisce i legami tra il meccanismo di Anticitera e macchine simili realizzate da Archimede a Siracusa.



2010 – *Nature* pubblica un ulteriore studio che evidenzia come la Macchina di Anticitera si basi più su modelli astronomici babilonesi che greci.

2012 – Tony Freeth e Alexander Jones approfondiscono la riproduzione delle anomalie del ciclo solare da parte della Macchina di Anticitera.

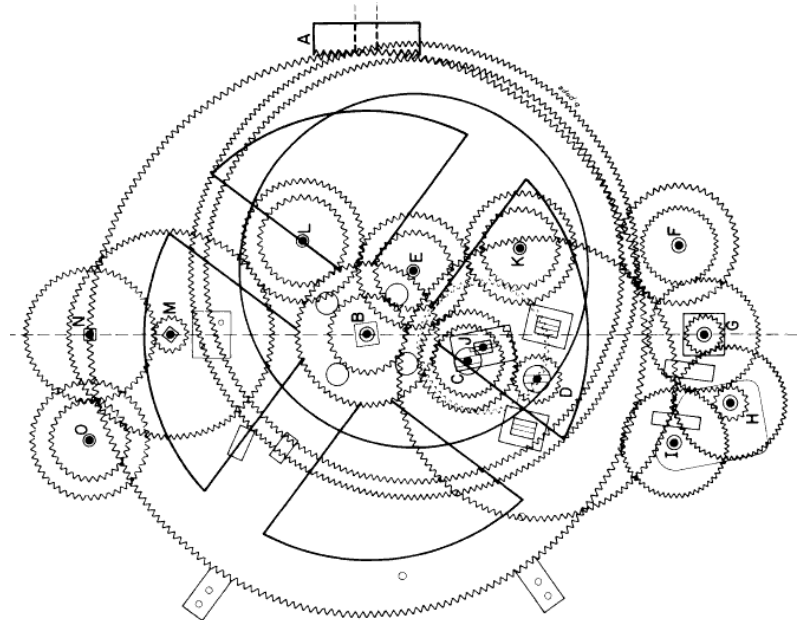
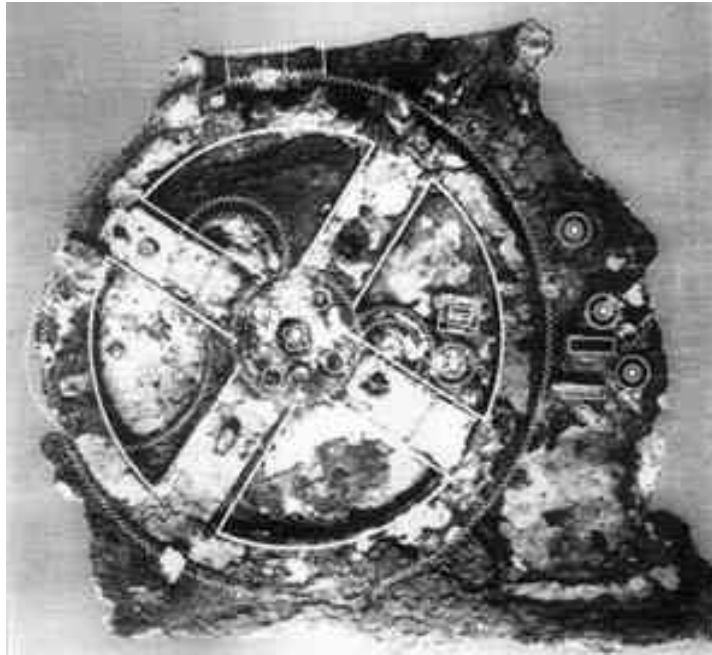


- Cronologia
- Struttura e funzioni
- Ingegnerizzazione
- Chi ha progettato e costruito questa macchina?
- Alcune considerazioni



STRUTTURA E FUNZIONI

Il grande interesse che questo dispositivo ha suscitato nell'ambiente scientifico non è privo di argomenti. L'analisi del suo funzionamento ha infatti evidenziato che si tratta di un vero e proprio computer analogico dedicato a calcoli astronomici ben definiti: posizione del sole, eclissi, posizione e fase lunare, relative eclissi ed anche posizione dei cinque pianeti noti in epoca ellenistica (Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno).



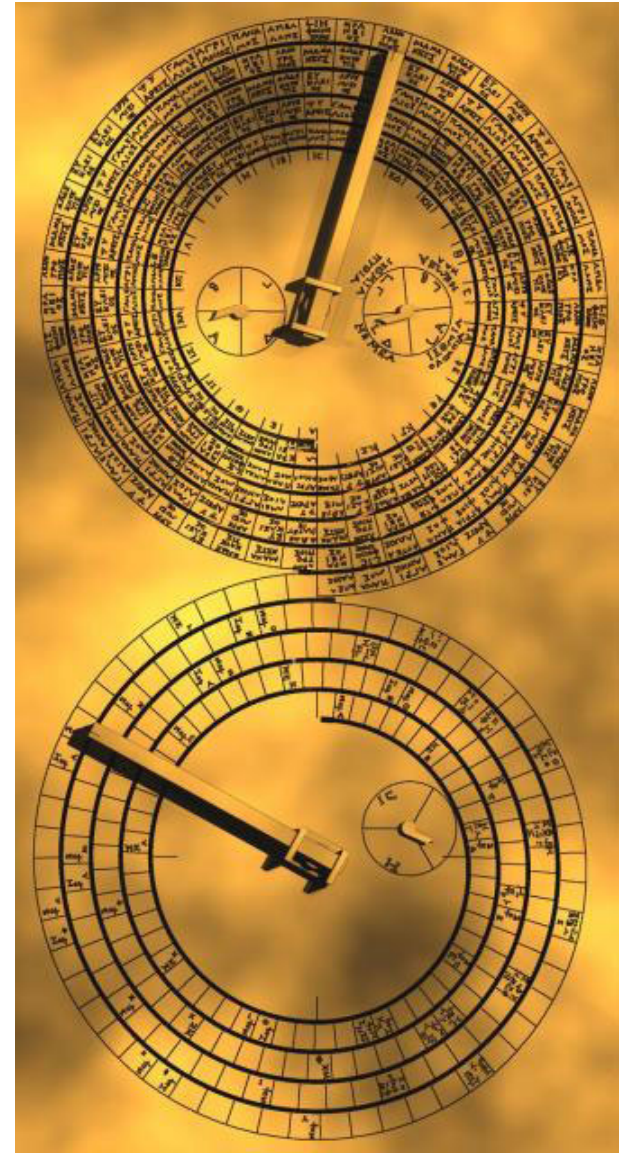
Il pannello frontale era diviso in tre sezioni. Quella centrale riportava i calcoli effettuati (posizione della luna e dei pianeti, fasi lunari) con riferimento allo Zodiaco, suddiviso in 360 gradi, e conteneva anche un calendario suddiviso in 365 giorni. La scala del calendario poteva ruotare rispetto ad una scala fissa per compensare lo scarto tra i 365 giorni del calendario egizio e la durata reale dell'anno.

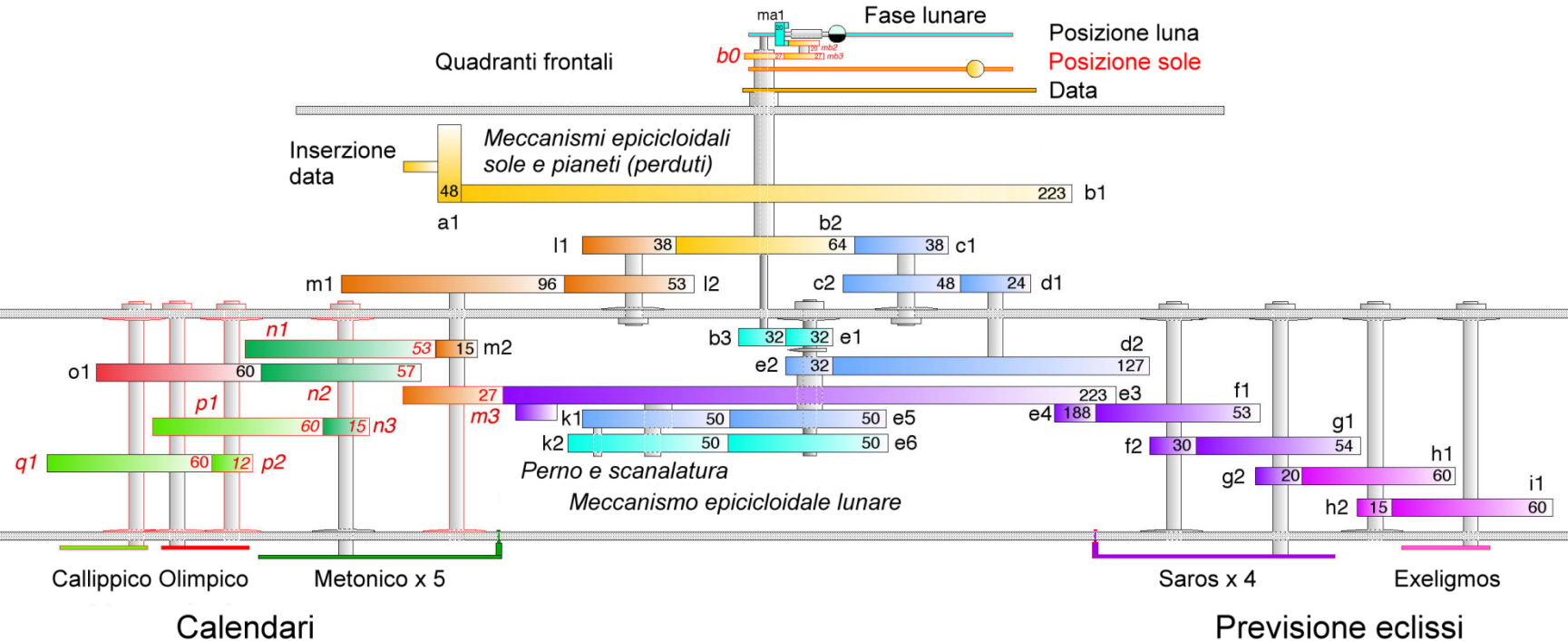
Sopra e sotto il quadrante centrale sono presenti due parti di un calendario astronomico (Parapegma) e, sulla destra, vi è la manopola che consente di inserire la data. Le dimensioni sono circa 315 x 190 x 100 mm.



Nella parte posteriore, sotto un coperchio rimovibile, sono presenti due quadranti con struttura a spirale suddivisi in mesi lunari. Quello superiore è suddiviso nei 235 mesi del ciclo Metonico; all'interno di questo quadrante troviamo un quadrante che riporta il ciclo quadriennale dei giochi Olimpici ed un quadrante relativo ai 76 anni del ciclo Callippico.

Il quadrante inferiore contiene 223 caselle relative ai mesi di un ciclo Saros; in queste caselle sono presenti informazioni relative alle eclissi. All'interno di questo quadrante troviamo un quadrante ausiliario relativo al ciclo Exeligmos, utilizzato per correggere le ore delle eclissi in cicli Saros successivi.





IL CALENDARIO EGIZIO

Il calendario egizio è un calendario composto da tre stagioni di quattro mesi di 30 giorni ciascuno, per un totale, quindi, di 360 giorni. Alla fine dell'anno vengono aggiunti 5 o 6 giorni, detti epagomeni (supplementari). La Macchina di Anticitera fa riferimento a questo calendario e consente di introdurre una data scelta tra 365 giorni. Prevede anche l'introduzione di una compensazione per lo scarto rispetto alla durata reale dell'anno solare ed è proprio la presenza di questo meccanismo di compensazione che ha consentito di dedurre la data di costruzione e quella del naufragio.

IL CALENDARIO METONICO

Il ciclo Metonico, introdotto dall'astronomo Metone di Atene nel 432 a.C., è basato sull'osservazione che 19 anni solari corrispondono (quasi) esattamente a 235 mesi lunari medi (sinodici). L'anno solare medio è di circa 365,2422 giorni (365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 46 secondi), mentre il mese lunare medio (o sinodico) è di circa 29,53059 giorni (29 giorni, 12 ore, 44 minuti e 3 secondi). 235 mesi lunari corrispondono a 19 anni solari più 2 ore e 5 minuti circa, con una differenza media di 6 minuti e 35 secondi per anno.



Il ciclo Metonico comprende 12 anni di 12 mesi lunari e 7 anni di 13 mesi ($12 \times 12 + 7 \times 13 = 235$). Gli anni di 13 mesi (embolismici) sono il 3°, il 6°, l' 8°, l'11°, il 14°, il 17° ed il 19° anno del ciclo. I mesi lunari hanno 29 o 30 giorni.

Uno dei due quadranti posteriori della Macchina di Anticitera è costituito da una spirale suddivisa in 235 caselle corrispondenti ai 235 mesi del calendario Metonico. La relativa lancetta ha una velocità di rotazione rispetto a quella solare pari a $(b2/i1) \times (i2/m1) \times (m2/n1) = (64/38) \times (53/96) \times (15/53) = 5/19$, cinque volte superiore a $1/19$; si ottiene così una risoluzione cinque volte maggiore utilizzabile grazie alla lettura sulla scala a spirale. Le dimensioni delle caselle relative ai vari mesi riflettono anche il numero di giorni.

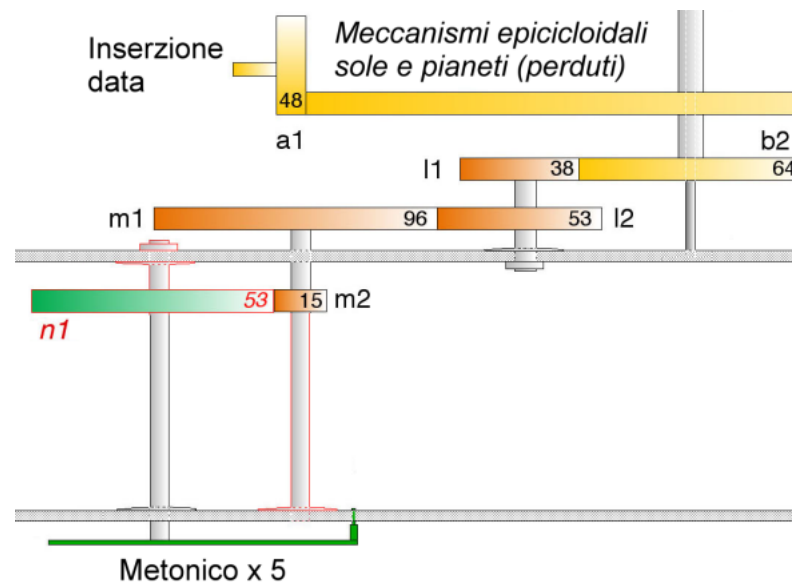
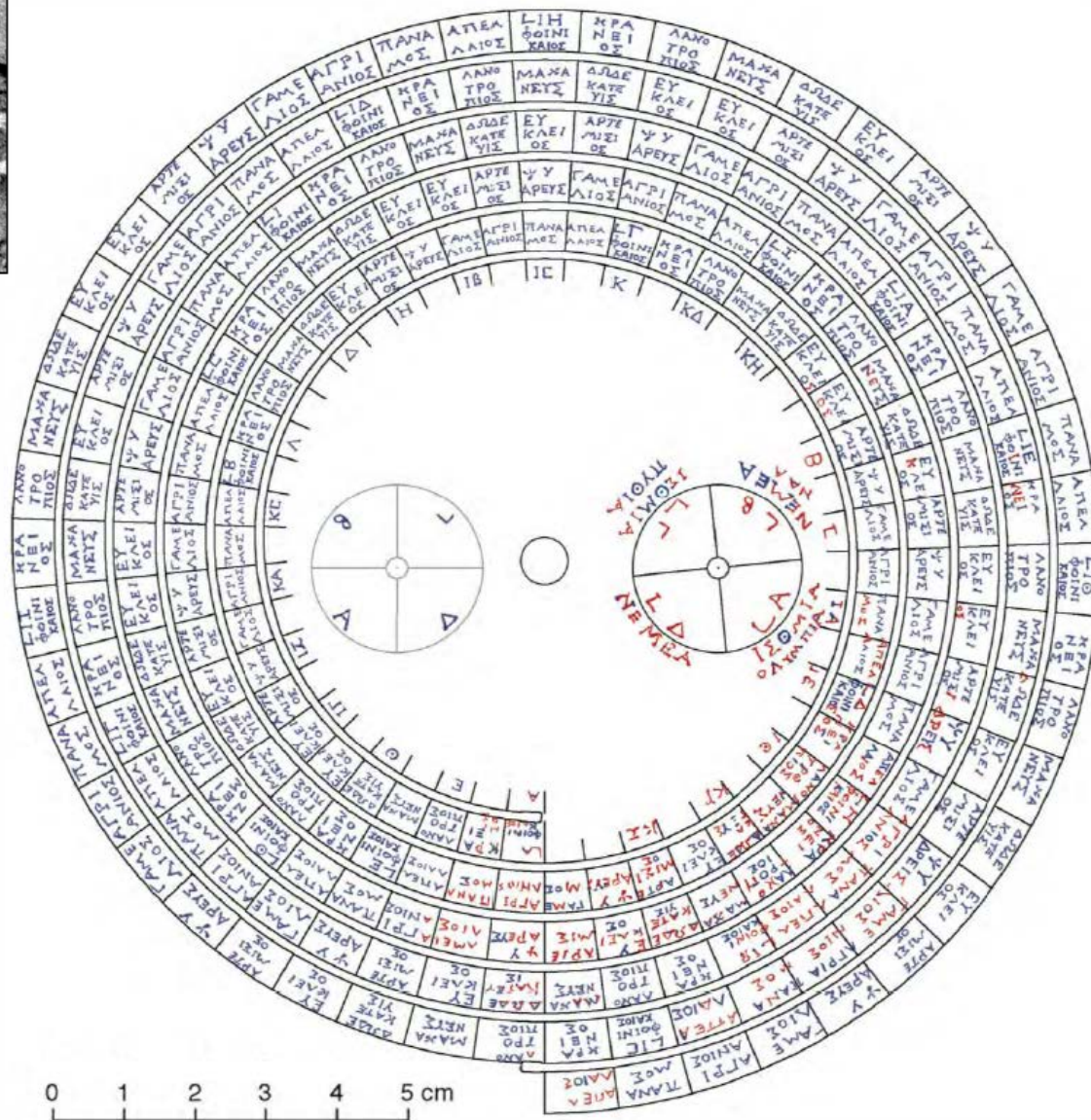




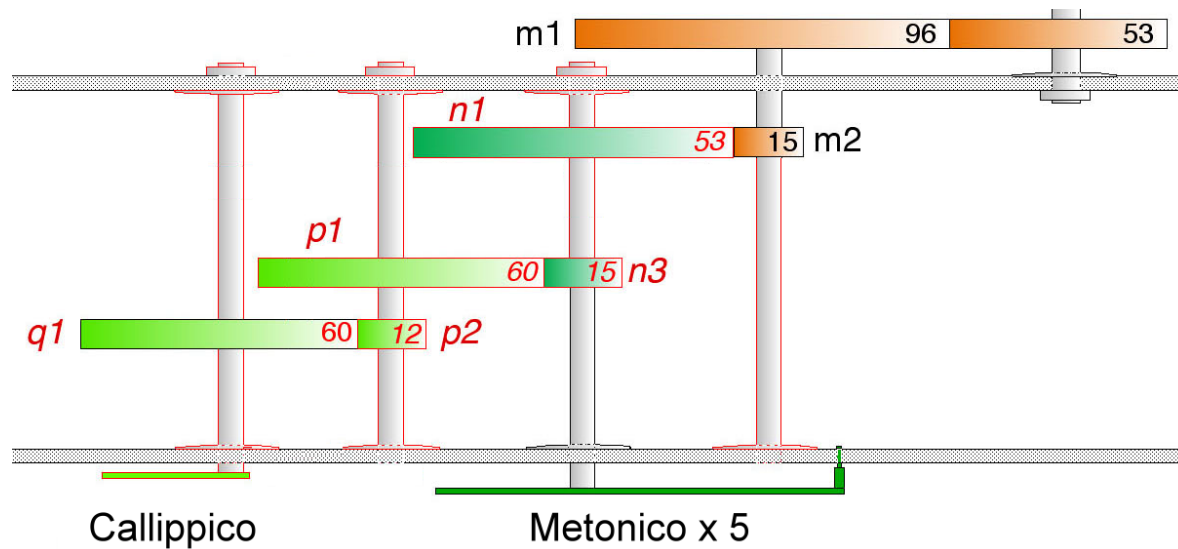
Immagine di una parte del quadrante relativo al calendario Metonico e ricostruzione dell'intero quadrante.



IL CALENDARIO CALLIPPICO

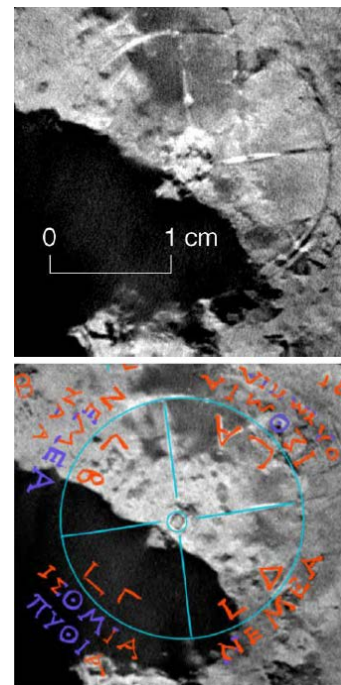
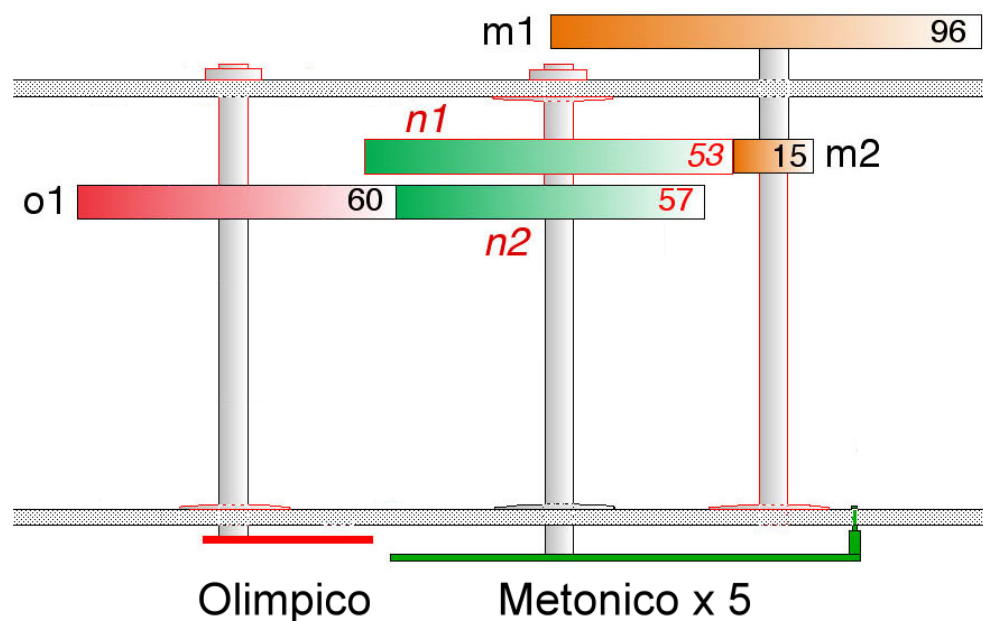
Il ciclo Callippico, introdotto dall'astronomo Callippo di Cizico nel 330 a.C., costituisce un perfezionamento del ciclo Metonico e si basa sulla equivalenza tra 76 anni solari e 940 mesi lunari.

Nella Macchina di Anticitera la lancetta relativa al calendario basato su questo ciclo è trascinata da una catena di ingranaggi collegata al perno del calendario Metonico e ruota ad una velocità di $(n3/p1) \times (p2/q1) = (15/60) \times (12/60) = 1/20$ rispetto a questo. Considerando la velocità cinque volte superiore della lancetta del calendario metonico si ottiene il rapporto 1:4 tra la lunghezza dei due cicli.



IL CALENDARIO OLIMPICO

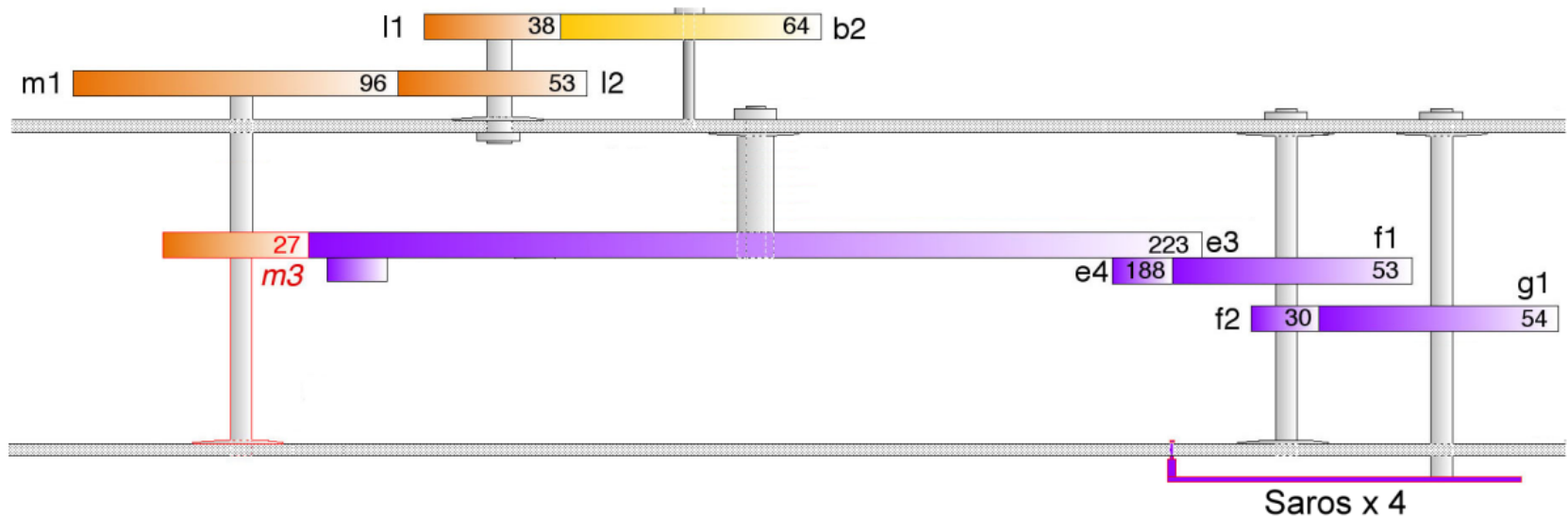
L'indicazione relativa alle date dei giochi Olimpici (e di alcuni giochi minori) è riportata su un quadrante nel quale la lancetta ruota con una velocità pari a $(n2/o1) = (57/60)$ rispetto a quella del calendario Metonico quindi pari ad $1/4$ di quella della lancetta solare. Il relativo quadrante è suddiviso in quattro parti che fanno riferimento anche a giochi minori.

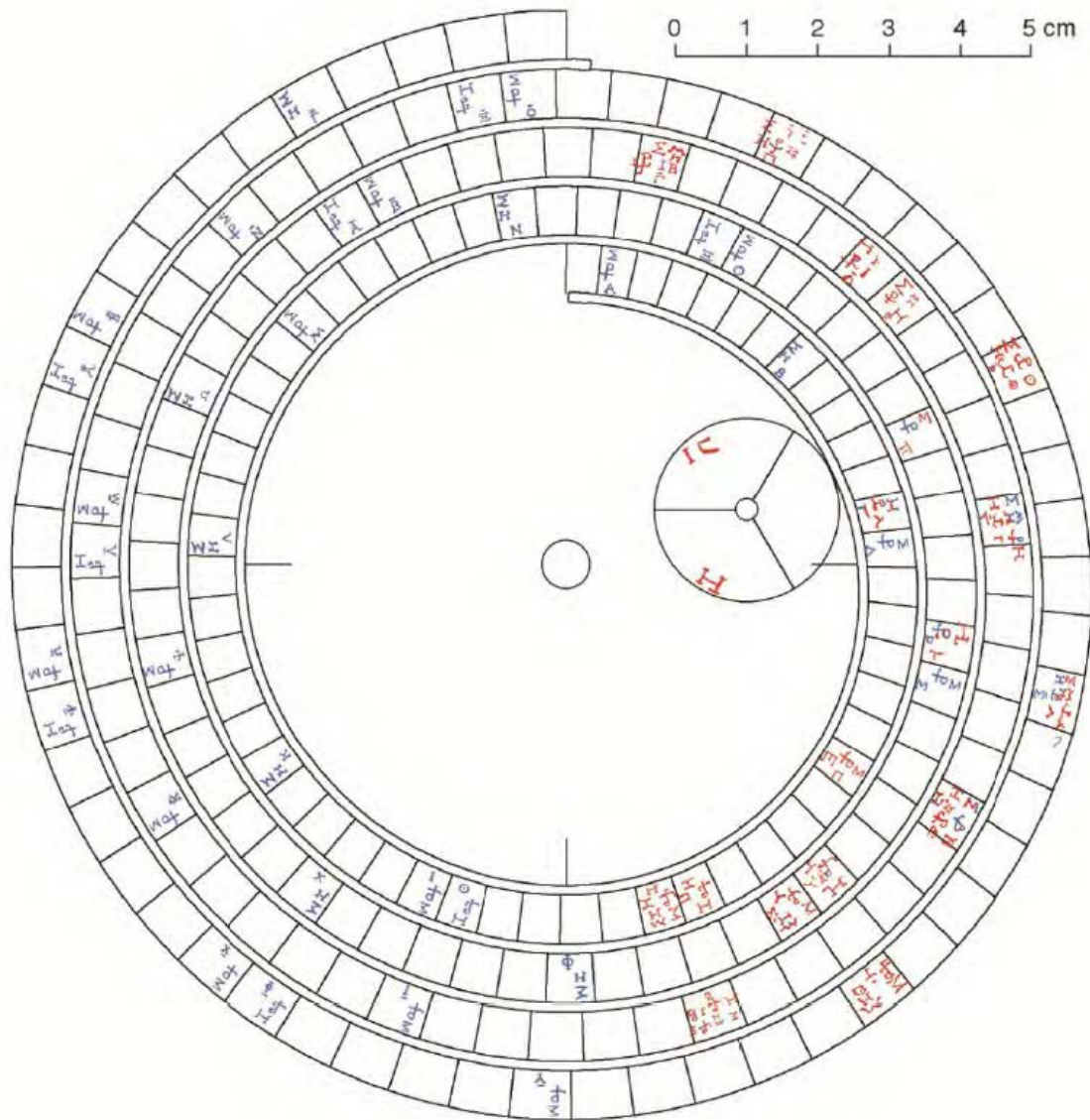


IL CICLO SAROS

Il Saros è un periodo di 6585,322 giorni (223 mesi sinodici) dopo il quale le eclissi di sole e di luna si ripetono (quasi) nello stesso luogo. Noto ai Caldei già nel VI secolo a.C., era noto anche a Ipparco, Plinio e Tolomeo.

Dopo la metà di un ciclo di Saros si ha, al posto di una eclissi di sole, una eclissi di luna e viceversa. L'indicatore di questo ciclo ruota ad una velocità pari a $(b2/l1) \times (l2/m1) \times (m3/e3) \times (e4/f1) \times (f2/g1) = (64/38) \times (53/96) \times (27/223) \times (188/53) \times (30/54) = 0,221855$ volte quella dell'indicatore solare, quattro volte superiore al valore previsto (0,0554638); anche qui si utilizza un quadrante a spirale.





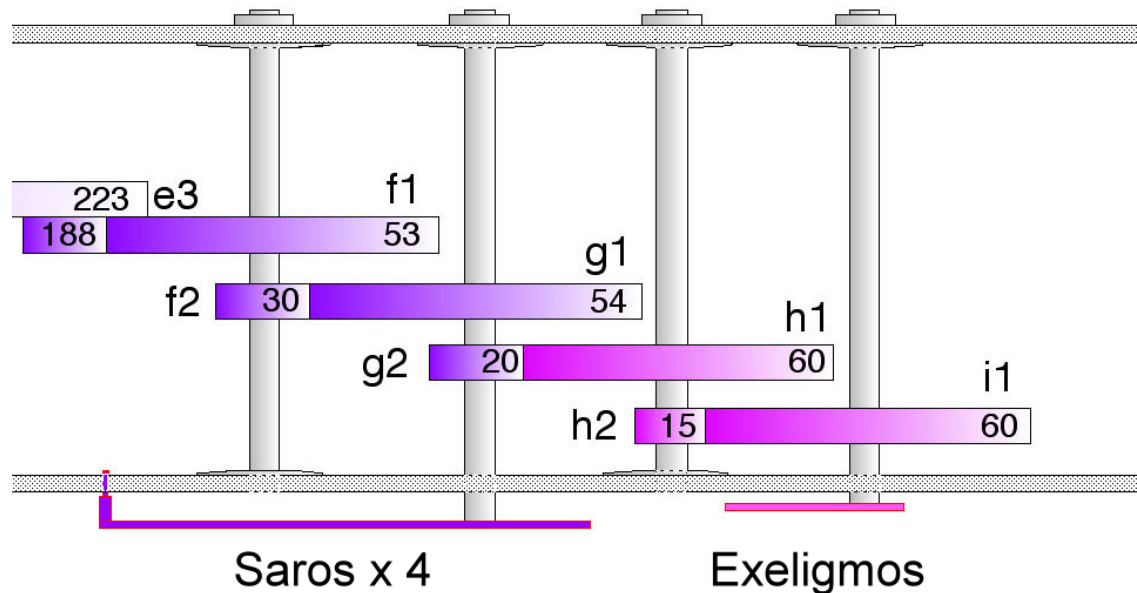
Ricostruzione del quadrante relativo al ciclo Saros



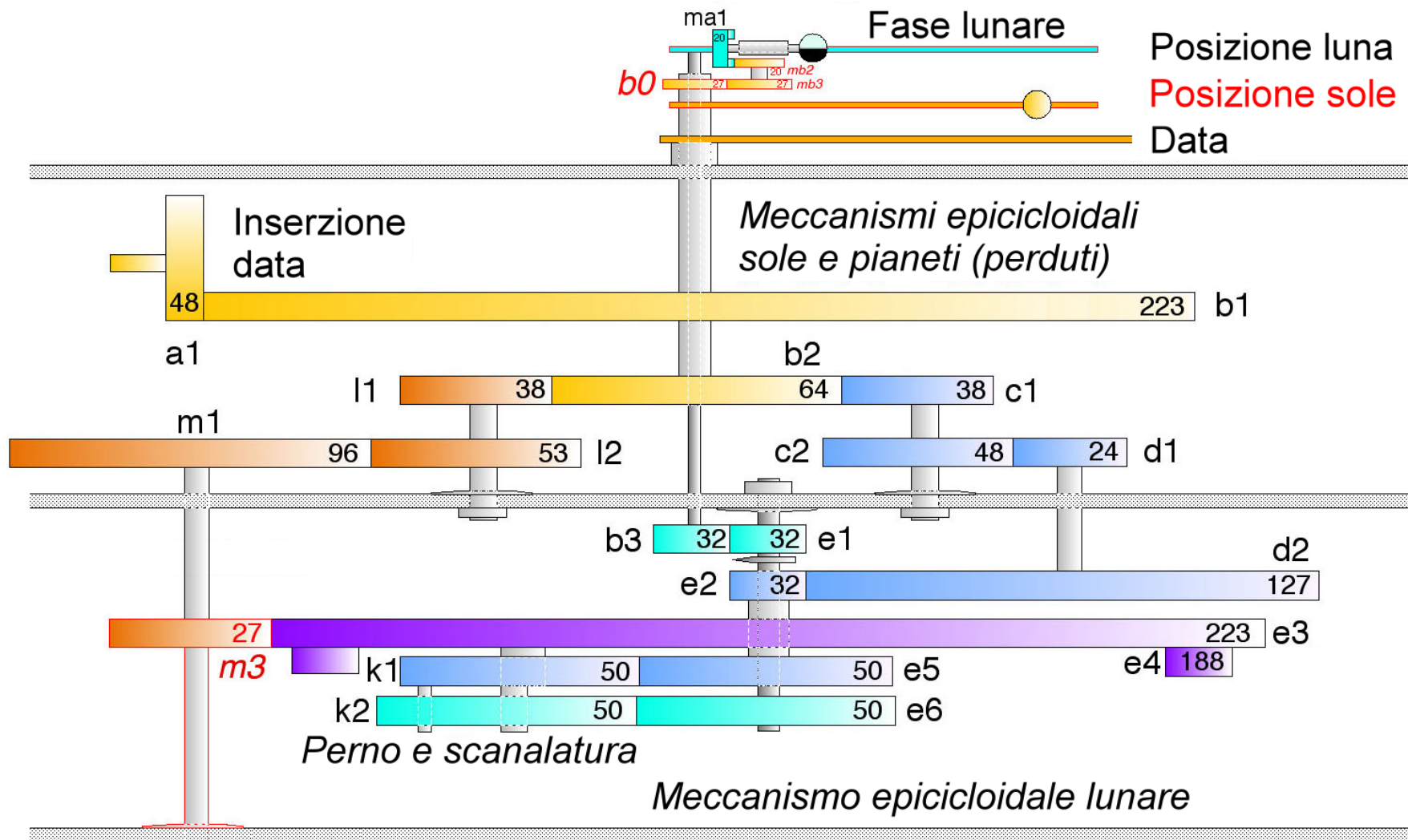
IL CICLO EXELIGMOS

Il Saros non è formato da un numero intero di giorni, ad ogni successivo ciclo si osserverà un ritardo di circa 8 ore nell'eclisse; dopo tre Saros invece l'ora sarà con buona approssimazione la stessa.

L'Exeligmos è appunto un ciclo di durata pari a tre Saros cioè 19756 giorni. L'indicatore relativo a tale ciclo ruota ad una velocità pari a $(g2/h1) \times (h2/i1) = (20/60) \times (15/60) = 1/12$ rispetto all'indicatore del Saros che, tuttavia, ruota con velocità quadrupla; si ottiene quindi una indicazione corretta per l'Exeligmos. Buona parte del quadrante è ricoperta da un calco (speculare) delle scritte presenti sul coperchio posteriore.



IL MECCANISMO DEL MOTO LUNARE

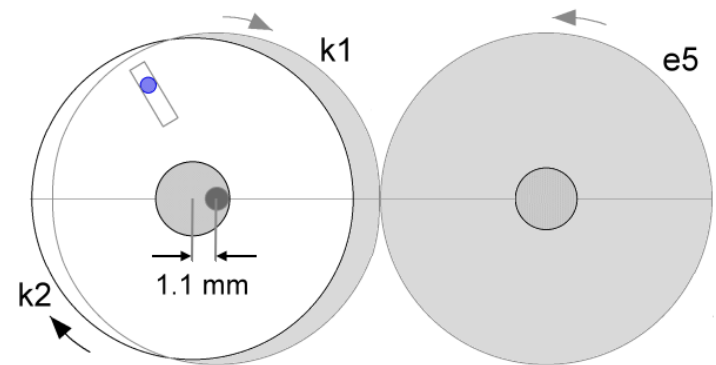


e3 ruota ad una velocità eguale alla differenza tra il numero di mesi siderali in un anno (13,36842) ed il numero di mesi anomalistici (13,25584); il rapporto di velocità rispetto all'indicatore solare è infatti pari a $(b2/i1) \times (i2/m1) \times (m3/e3) = (64/38) \times (53/96) \times (27/223) = 0,11258 = 13,36842 - 13,25584$.

La catena di ingranaggi $b2 - c1 - c2 - d1 - d2 - e2$ determina poi una rotazione di e5 ad ogni mese siderale; infatti e5 ruota ad una velocità di $(b2/c1) \times (c2/d1) \times (d2/e2) = (64/38) \times (48/24) \times (127/32) = 13,36842$ (numero di mesi siderali in un anno) rispetto all'indicatore solare.

e3 ed e5 ruotano nella stessa direzione; l'asse di k1 è montato su e3 quindi k1 ha una velocità angolare uguale a quella di e5 meno quella di e3. Questo è un sistema differenziale epicicloidale mediante il quale si ottiene, per k1, una rotazione per ogni mese anomalistico.

k1 e k2 non sono coassiali, i loro assi hanno un offset di circa 1.1 mm. Un piccolo perno, a 9.6 mm dal centro, sporge da k1 e trascina k2 attraverso una guida radiale nella quale è inserito. A causa dell'offset tra gli assi, k2 ruota ad una velocità angolare variabile che dipende dalla rotazione di k1 cioè dalla posizione della luna nella sua orbita.

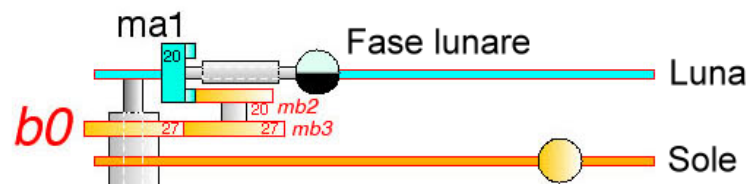


La massima differenza di rotazione di k2 rispetto a k1 con i dati precedenti risulta di 6.5° ; secondo i calcoli fatti da Ipparco durante le eclissi lunari tale angolo avrebbe dovuto essere compreso tra 4.4° e 5.9° . Secondo i calcoli degli astronomi babilonesi avrebbe dovuto essere maggiore.

e6, che ha un diametro leggermente maggiore di e5, somma alla velocità di rotazione di k2 quella di e3; ruota quindi ad una velocità eguale al numero di mesi siderali in un anno con sovrapposta una variazione sinusoidale di frequenza pari al numero di mesi anomalistici. e5, e6, k1 e k2 (tutti con 50 denti) si trovano all'interno dell'ingranaggio a corona e4 e sono a contatto di e3. La rotazione di e6, attraverso e1 – b3 (entrambi con 32 denti) perviene poi alla lancetta che indica la posizione lunare.

L'indicazione della fase lunare si basa poi su un ulteriore meccanismo differenziale; b0 è collegato al perno della lancetta solare e la

catena b0 – mb3 – mb2 – ma1 pilota l'indicatore della fase lunare che ruota ad una velocità di 12,368 volte quella dell'indicatore solare riproducendo il mese sinodico.



- Il differenziale moderno viene descritto e brevettato dall'orologiaio francese Onésiphore Pecqueur nel 1827 per l'uso in un veicolo a vapore ma meccanismi differenziali erano già presenti in alcuni orologi astronomici del XIV secolo.

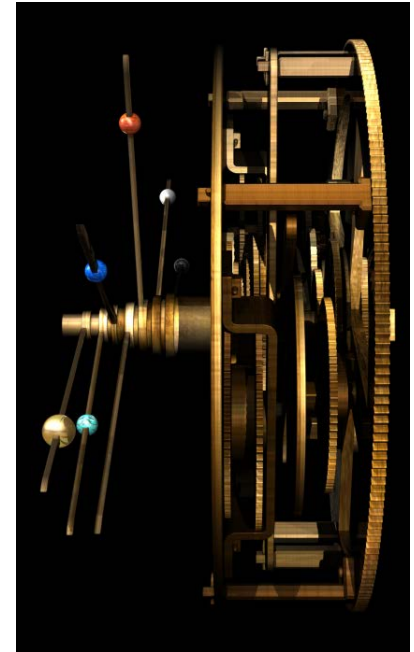


IL MOTO DEI PIANETI E LE ANOMALIE DEL MOTO DEL SOLE

I cinematismi relativi alla riproduzione del moto dei cinque pianeti noti in epoca ellenistica sono andati perduti; la presenza di tali parti della macchina è tuttavia confermata dalle descrizioni presenti nel Parapegma dove viene indicato anche il colore delle sferette che indicavano i vari pianeti. Le anomalie delle loro orbite potevano venire riprodotte nello stesso modo utilizzato per le anomalie lunari.

Non è invece del tutto certa (pur essendo probabile) la riproduzione delle anomalie dell'orbita solare; non sappiamo quindi se la posizione del sole sullo zodiaco fosse indicata come funzione lineare della data immessa o attraverso il calcolo della velocità del sole nei diversi punti della sua orbita.

Alcune riproduzioni della macchina hanno consentito di inserire, in maniera molto semplice, la ricostruzione di tali moti utilizzando lo spazio disponibile tra la piastra anteriore della macchina e b1.



IL PARAPEGMA

Il testo è di carattere astronomico e contiene molti numeri, forse relativi al moto dei pianeti; il termine ΣΤΗΡΙΓΜΟΣ (sterigmos, punto stazionario) viene usato per indicare l'apparente inversione del moto. Nelle scritte presenti sul coperchio posteriore sono presenti sia termini tecnici come *“perno di articolazione”*, *“gnomone”*, *“foro”* che termini relativi a cicli astronomici; troviamo anche la scritta *“spirale divisa in 235 sezioni”*. Le scritte *“sferetta dorata”* e *“sferetta”* fanno riferimento al sole e alla luna nel quadrante anteriore. Vi sono anche riferimenti geografici: *“Pharos”*, *“... Spagna dieci”* che, assieme alle scritte *“verso Est”*, *“Ovest-Nord-Ovest”* e *“Ovest-Sud-Ovest”* fanno pensare ad indicazioni relative alle eclissi in luoghi specifici ed alla registrazione (frequente nell'antichità) della velocità dei venti durante tali fenomeni.



1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37

Ο
 Ο Δ Ε Η Ο Σ
 Ο Σ Α Π Ο Σ Τ Η Μ Α
 Δ Ο Ν Ε Ξ Α Ρ Χ Η Σ Α
 Ε Σ Π Ο Μ Ε Ν Α Ο Δ Ε
 Ο Υ Ο Ε Σ Π Ο Α Π Ο Κ Α Τ Α Σ Τ Α Σ
 Π Α Σ Τ Ο Υ Δ Α Π Ο Κ Ο Τ Α Σ Ν Ν Α Τ Α Ι Σ Ο
 Λ Ο Π Ρ Ο Σ Τ Ο Ν Η Λ Ι Ο Ν Σ Ο Π Ο Δ Ε
 Ι Α Ξ Ι Α Λ Ι Σ Α Σ Κ [Α] Π Ρ Ο Σ Α Γ Ε Ι Ν Ε Π [Π] Σ Η Σ Τ Ο Ν Η Λ [Ι Ο Ν]
 [Π Ρ] Ο Σ Α Γ Ε Τ Α Ι Ε Π Ι Τ Ο Ν [Η Λ] Ι Ο Ν Ε Λ Α Σ Σ Ο Ν Α Σ Τ Η Ρ Ι Γ Μ Ο Ι Σ Τ Υ Γ Χ Α Ν Η Α Π Ο Σ
 [Π Ρ] Ο Σ Α Γ Ε Ι Π Ρ Ο Σ Τ Ο Ν [Η] Λ Ι Ο Ν Ε Ω Σ Η Σ Ε Ι Ο Ν Κ Α Ι Σ Υ Ν Ο Δ Ο Ν Α
 Ε Π Ι Τ Ο Μ Ε Γ Ι Σ Τ Ο Ν Ε Π Ο Μ Ε Ν Ο Ο Ε Ν Α Λ Δ Α Ι Σ Η Μ Ε Ρ Α Ι [Σ]
 [Σ Τ Η Ρ Ι Γ] Μ Ο Ν [Ω Σ] Ο Π Ρ Ο Η Γ [Ο] Υ Μ Ε Ν Ο Σ Α Π Ο Σ Τ Α Λ Θ
 Α Σ Ε Ν Η Μ Ε Ρ Α [Ν] Π Ο Ι Ε Ι Π [Ρ Ο] Ε Ν Ο Σ Ε Ι Σ Τ Η [Ν] Κ Ε Π
 [Δ Ι] Α Σ Τ Η Μ Α Τ Ο Σ Π [Ρ] Ο Σ Α [Ο] Π Ρ Ο Σ Τ
 Κ Η Σ Ε Ι Ο Σ Χ [Ε] Π Ι Τ Ε Μ Χ Α
 Ο Σ Ι Τ Ο Ν Η Λ Ι Ο Ν Η Α Φ Ρ Ο [Δ Ι Τ Η] Η Ν Ο Ι Ε Ν
 Σ Τ Η Π Ρ Ο Σ Α Γ Ε Ι Π Α Σ Ι Ν Γ Ω Ν Ι Α Ι Σ
 Ο Ι [Η Μ Ε Ρ Α Σ] Π Ρ Ο Σ Α Γ Ε Ι Τ Η Ν Π Ι Π Ε Τ Α Ν Α Κ Α Σ Α Ε
 Ε Σ Π Η Μ Ε Ρ Α Σ Κ Α Ι Υ Π Ο Λ Ε Ι Π Ε Τ Α Ι Μ Ε Χ Ρ Ι Τ Η Σ Ε Ω Ι Α Σ Σ Τ
 Η [Μ Ε Ρ] Α Ι Τ Μ Η Μ Ε Ρ Α Σ Σ Ο Ν Ο Η Ο Ν Ο Τ Ο Υ Λ Α Κ Μ Η
 Α Ν Ι Σ Α Τ Ο Ν Ε Π Ι Σ Ο Ν Ε Χ Ω Ν Σ Τ Η Ρ Ι Γ Μ Ο Ν Ε Π Ι Σ Χ Ω Ν Α Π Ο Τ Ο Υ Η Λ Ι Ο Υ Ν Ε Σ Λ Ι
 Α Ε Σ Α Ι Π Ι Σ Ε Ε Η Λ [ΙΑ] Κ Η Ν Π Α Ρ Α Τ Ε Ι Ν Ε Τ [Η Ν] Α Π Ο Σ Τ Α Σ Ι Ν Ε Σ Α Π Ο
 Ρ Ε Σ Α Σ Ε Η Λ Ι Α Κ Η Ν Ε Π Ε Τ Ε Ι Ν Ε Ν Τ Ε Σ Σ Α Ρ Α Κ / Ε Ν Α Ε Υ Δ Ο Μ Ο Ν Κ Α
 Ν Ε Ξ Η Μ Ε Ρ Α Σ Η Γ Ε Ν [Ε] Σ Ε Ω Σ Ε Ν Ε Ν Ε Χ Ε Ω Α Ν Κ Α Τ Α Λ Ο
 Ε Α Ε Ι Ν Π Δ Ι Α Σ Τ Α Σ Ι Ν Σ Η Μ Ε Ρ Α Ι Σ Μ Ε Ν Μ Ε Γ Α Λ Α Ι Σ
 Α Κ Α Ι Δ Ω Δ Ε Κ Α Τ Η Μ Ο Ρ Ι Ο Σ Κ Α Α Φ Α Ι Λ Ε Τ Η Ν Υ Π Ο Λ Ο Ι Π Ο [Ν]
 Α Μ Ο Ν Ε Ξ Α Π Ο Τ Ο Υ Ε Σ Π Ε Ρ Ι Ν Ο Υ Ε Ε Χ Σ Κ Α Ι Υ Π Ο Λ Ο Ι Π Ο Ν
 Α Ν Τ Μ Η Μ Ε Ν Χ Ρ Ο Ν Ω Α Π Α Ν Α Ι Ο Ν Η Μ Ε Ρ Α Ι Σ Τ Ο
 Ε Α Σ Ε Π Α Γ Ε Ι Σ Ρ Α Θ Ε Π Ι Τ Ο Ν Η Λ Ι Ο Ν Τ Ο Ν Σ Τ Η Ρ Ι Γ Μ Ο Ν [Ε]
 Ο Ο Ν Ο Μ Α Η Μ Ε Ρ Α Σ Λ Α Π Ρ Ο Η Γ Ε Ι Τ Α Ι Η Μ Ε Ρ Α Ι Σ Τ Ο
 Ν Α Ν Α Τ Ο Λ Η Σ Ε Ι Ν Α Ι Ο Η Λ Ι Ο Σ Μ Η Μ Ε Ρ Α Σ Π Α Λ Ο Ν
 Α Ν Α Η Μ Ε Ρ Α Ν Γ Ι Ν Ε Τ Α Ι Η Π Ε Ρ Α Ι Ε Ι Σ
 [Η Μ] Ε Ρ Α Σ Σ Ε Ι Σ Α Η Μ Ε Ρ Α Ι Α Π Ο Ο Ε
 Ρ Α Σ Ι Ν Ε Μ
 Τ Η

Parte delle scritte anteriori



La Macchina di Anticitera

- Cronologia
- Struttura e funzioni
- Ingegnerizzazione
- Chi ha progettato e costruito questa macchina?
- Alcune considerazioni



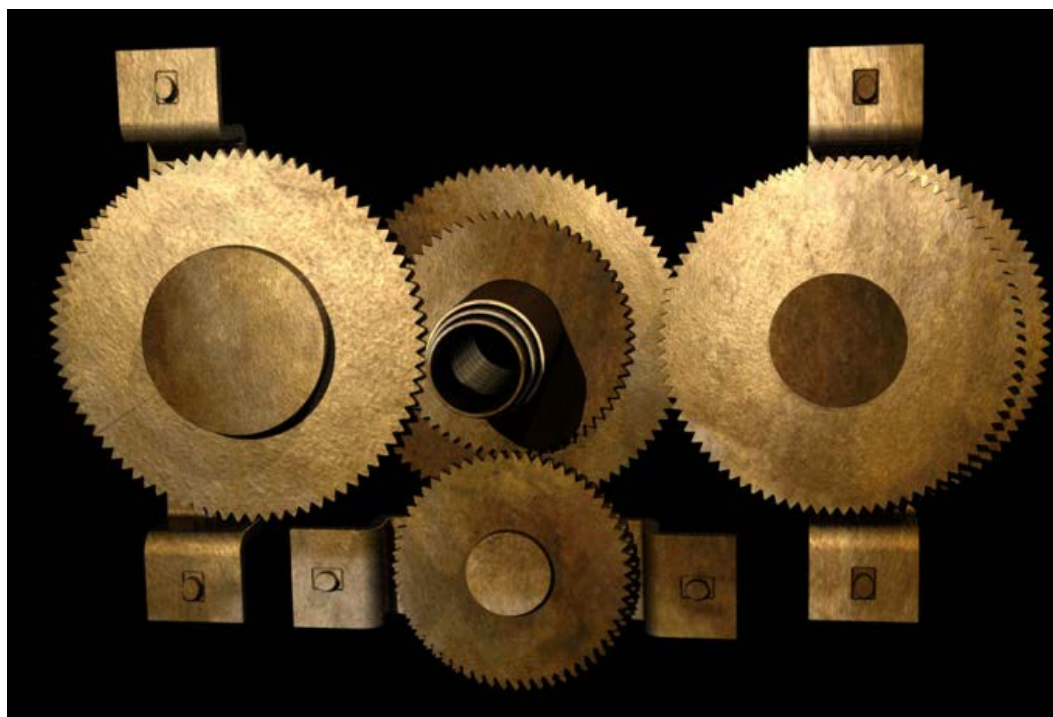
INGEGNERIZZAZIONE

L'intero dispositivo è molto ben costruito ed ha probabilmente richiesto la realizzazione di prototipi parziali data la complessità dell'insieme.

Le tolleranze di lavorazione necessarie in alcune parti sono dell'ordine di pochi decimi di millimetro e si tratta, con ogni evidenza, del prodotto di una tecnologia matura, preceduta da numerose realizzazioni di dispositivi simili.



Lo spessore degli ingranaggi presenti varia tra 1.0 mm per i più piccoli e 2.7 mm per quelli di diametro massimo; ad esempio, b1 è spesso 2,7 mm, b2 ha uno spessore di 2,3 mm e m1 di 2,0 mm. Il modulo medio (rapporto tra diametro dell'ingranaggio in mm e numero denti) è 0,47. Tutti i denti sono triangolari con angolo di 60°; ogni ingranaggio può quindi accoppiarsi con tutti gli altri. La lega utilizzata è bronzo a basso contenuto di stagno (meno del 5%).



Le dimensioni molto ridotte e le indicazioni riportate sul pannello posteriore fanno pensare sia stato progettato per un uso portatile. Gli strumenti richiesti per la realizzazione includono lime, martelli, pinze, divisori, righelli, trapani e torni; le piccole disuniformità presenti nei denti degli ingranaggi indicano che sono stati realizzati manualmente utilizzando lime.

È interessante chiedersi come i progettisti della Macchina di Anticitera abbiano calcolato una approssimazione razionale così accurata, $254/19 = 13,36842105$ al numero di mesi siderali in un anno solare. L'errore è 0,00015 cioè una parte su 86.000. Il ciclo Metonico approssima con 235 mesi sinodici 19 anni solari e questo corrisponde a $235 + 19 = 254$ rivoluzioni della luna rispetto allo Zodiaco.

Il valore corretto sarebbe 13,368267... e sviluppandolo in fratti semplici si ottiene:

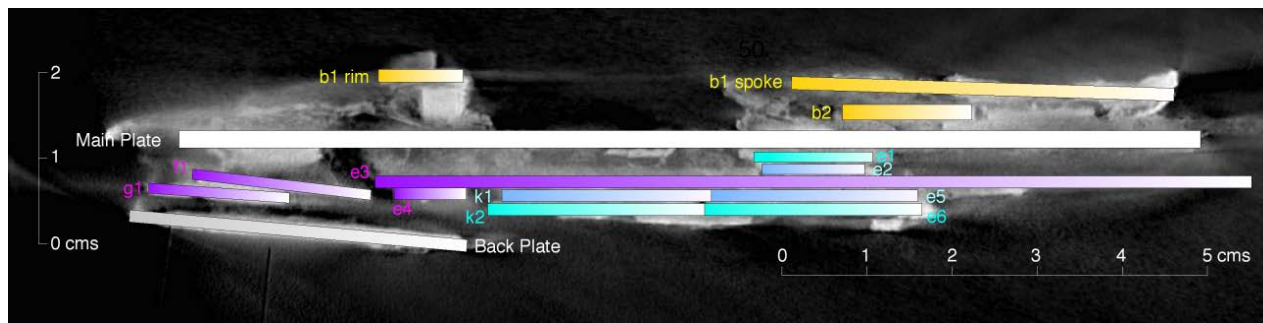
$$\begin{aligned}
 13.368267\dots &= [13, 2, 1, 2, 1, 1, 17, \dots] \\
 &= 13 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{2 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{1 + \cfrac{1}{17 + \cfrac{1}{\text{etc.}}}}}}}}
 \end{aligned}$$

Fermando lo sviluppo all'ultimo "1" della tabella seguente si ottiene proprio $254/19$, inserendo anche il "17" si ottiene $4465/334$, un rapporto praticamente irrealizzabile mediante una catena di ingranaggi.

L'eleganza globale del progetto meccanico e la straordinaria ottimizzazione evidenziano una capacità progettuale e di ingegnerizzazione molto elevate.



In varie parti del meccanismo gli ingranaggi sono alloggiati in spazi molto ridotti e risultano a contatto tra di loro; i cinque ingranaggi compresi tra e1 ed e6, ad esempio, sono alloggiati in uno spessore totale di soli 7 mm. Questo suggerisce che la lavorazione delle superfici fosse speculare e che sia stata usata qualche forma di lubrificazione per ridurre gli attriti.

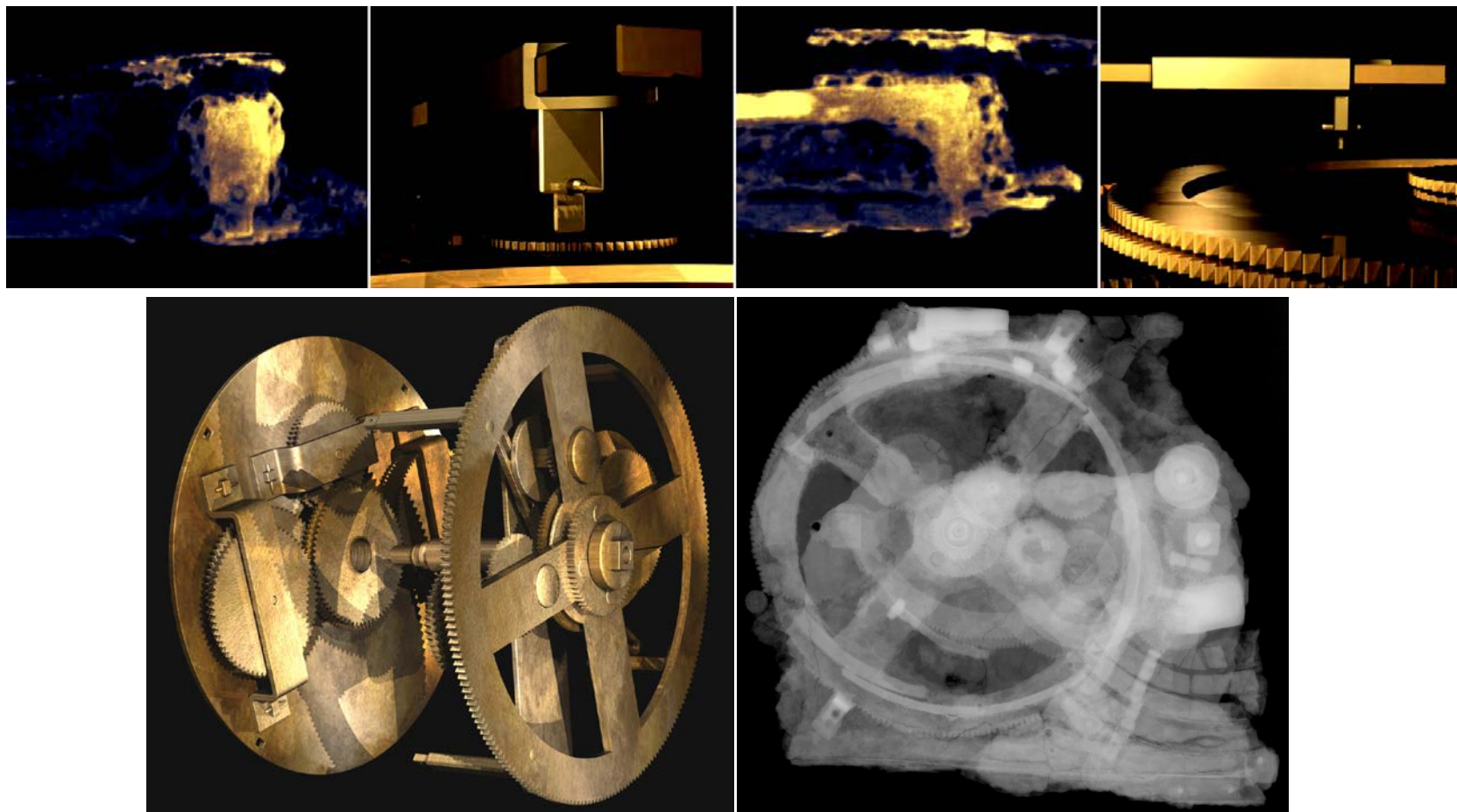


Un ulteriore problema è posto dalla necessità di potere smontare periodicamente la macchina per potere effettuare, quando necessario, riparazioni (ne risultano due nel dispositivo di Anticitera) e/o reset della posizione reciproca degli ingranaggi.

Anche i due quadranti posteriori richiedono un reset periodico; trattandosi infatti di quadranti a spirale, la loro lettura, richiede di conoscere quale parte della spirale sia indicata dalla lancetta.



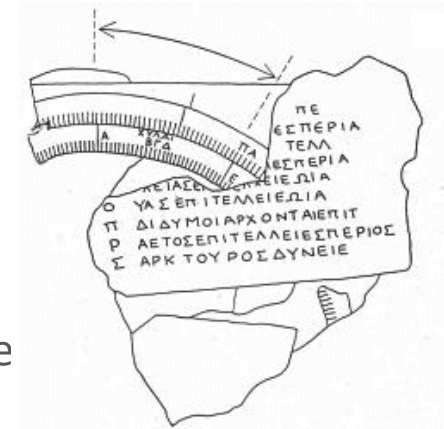
Questo compito era affidato ad un piccolo perno che seguiva la fessura interposta tra le spirali; ogni 19 anni per il ciclo Metonico e ogni 18 anni per il Saros il relativo perno doveva venire riportato alla posizione più interna.



QUANDO È STATA COSTRUITA QUESTA MACCHINA?

Nella cronologia si è affermato che il naufragio della corbita sia avvenuto nell'80 a.C. ed è lecito chiedersi su che base sia stata fatta questa affermazione visto che non esiste alcun documento al riguardo. Ci si può basare su vari indizi:

- La macchina utilizza un modello delle anomalie lunari dovuto a Ipparco (Nicea, 190 a.C., Rodi, 120 a.C.) e questo pone un primo limite alla data della costruzione.
- Alcune monete ritrovate sul relitto da Jacques Cousteau nel 1970 risalgono all'85 a.C. quindi il naufragio non è potuto avvenire prima di tale anno.
- Gli studi di Price sulla configurazione ritrovata nella macchina unite agli indizi precedenti porterebbero alla indicazione dell'80 a.C. (è anche possibile che la configurazione non fosse aggiornata rispetto alla data del naufragio).
- La tacca di allineamento sulla scala delle compensazioni è spostata di 0.5° rispetto al riferimento e questo indicherebbe una costruzione risalente all'82 a.C.



Considerando anche il confronto tra le eclissi indicate sul quadrante Saros e quelle presenti nel database della NASA, le date precedenti risultano plausibili.



- Cronologia
- Struttura e funzioni
- Ingegnerizzazione
- Chi ha progettato e costruito questa macchina?
- Alcune considerazioni



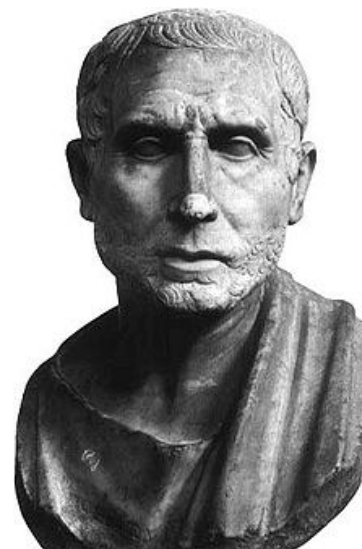
CHI HA PROGETTATO E COSTRUITO QUESTA MACCHINA?

Posidonio di Rodi è stato una straordinaria figura di scienziato, storico e filosofo.

Nato ad Apamea attorno al 135 a.C., verso il 117 a.C. si recò ad Atene, dove fu allievo della scuola stoica di Panezio. Attorno al 95 a.C. si trasferì a Rodi, che all'epoca era un fiorente centro commerciale e culturale. Posidonio acquisì la cittadinanza di Rodi e partecipò al governo dell'isola. Qui fondò la sua scuola, che fu frequentata anche da Cicerone e Pompeo Magno. Era non solo uno storico di grande valore, cui si deve una storia di Roma in 52 libri, ma anche uno scienziato di primissimo livello.

Posidonio riteneva che sulla storia e sulla natura agissero le stesse leggi e questo lo spinse ad approfondire la conoscenza delle leggi naturali per approfondire anche la comprensione degli eventi storici.

A Posidonio si deve anche un calcolo della circonferenza della terra, della dimensione e distanza della Luna e del Sole ed uno studio della influenza della Luna sulle maree. Posidonio ha sostenuto la tesi dell'esistenza di una interrelazione organica di tutte le parti dell'universo, umanità inclusa, e credeva anche nella possibilità di utilizzare tale contesto unificante per fare previsioni scientifiche di eventi futuri da eventi presenti e passati (è quanto viene fatto oggi nell'ambito della Teoria dei Sistemi Dinamici).



Posidonio fu ambasciatore a Roma, dove soggiornò a lungo, nell'87 e 86 a.C. e vi stabilì molte amicizie.

Cicerone, De Natura Deorum: Supponiamo che qualcuno rechi in Scizia o in Britannia la sfera costruita dal nostro amico Posidonio che riproduce esattamente il moto diurno e notturno del sole, della luna e dei cinque pianeti: chi, pur in mezzo a così oscura barbarie, esiterebbe a riconoscere in quella sfera un prodotto della ragione?

Cicerone, De Natura Deorum: Secondo loro sarebbe stato molto più abile Archimede nel riprodurre i moti celesti con la sua sfera di quanto non lo sia stata la natura nel crearli, nonostante la maggiore perfezione di questi ultimi in più di un particolare rispetto alla loro imitazione.

Sempre Cicerone, nel *De Re Publica* e nelle *Tusculanae Disputationes* fa riferimento ai planetari in bronzo costruiti da Archimede che mostravano la Terra, la Luna, il Sole, il mese lunare e le eclissi di Sole e di Luna, portati a Roma, dopo il saccheggio di Siracusa e la morte di Archimede nel 212 a.C., dal generale romano Marco Claudio Marcello.

Fu dunque Posidonio a realizzare la Macchina di Anticitera? Oppure è stata realizzata dai discepoli di Ipparco di Nicea che visse a Rodi per la maggior parte della sua vita e vi morì nel 120 a.C.? Il modello delle anomalie lunari implementato nel dispositivo è, in effetti, dovuto a Ipparco.



- Cronologia
- Struttura e funzioni
- Ingegnerizzazione
- Chi ha progettato e costruito questa macchina?
- Alcune considerazioni



ALCUNE CONSIDERAZIONI

Al di là di alcune incertezze residue, quello che emerge chiaramente è la straordinaria capacità maturata nel periodo ellenistico di sviluppare modelli astratti (matematici) della realtà sulla base di osservazioni (misure) e di implementare tali modelli in dispositivi di rilevante interesse pratico e concettuale utilizzando tecnologie delle quali si è rientrati in possesso solo in epoche molto più recenti.

Questo miracolo culturale, scientifico e tecnologico ha avuto molte delle sue radici nella politica adottata dalla dinastia dei Tolomei che portò a quella straordinaria realizzazione che fu la Biblioteca di Alessandria ed il contesto scientifico, culturale ed economico ad essa collegati.

La distruzione di questa grande realizzazione è una pagina dolorosa della storia dell'Occidente, un suicidio scientifico, culturale e tecnologico che, come ci dimostra la Macchina di Anticitera, ha ritardato di almeno 1500 anni il progresso della scienza e della tecnologia. Non è un caso che i primi orologi astronomici comparsi in Europa nel XIV secolo utilizzassero una tecnologia molto simile a quella della Macchina di Anticitera e che queste conoscenze ci siano pervenute attraverso popolazioni che avevano potuto salvare e conservare qualche frammento di quanto realizzato in epoca ellenistica.



Forse anche i curricula della nostra Scuola di Ingegneria potrebbero giovare di una maggiore contestualizzazione delle (tante) conoscenze trasmesse e questo, in molti casi, potrebbe affidarsi anche ad una maggiore conoscenza della storia del pensiero scientifico e tecnologico distribuita nell'ambito dei vari corsi od anche affidata ad un corso specifico.

Inoltre, grazie alla sensibilità di molti Colleghi, è stata salvata dalla dispersione e distruzione una selezione di notevole interesse di molte realizzazioni tecnologiche che, pur relativamente recenti sul piano cronologico, hanno rappresentato tappe importanti. Credo che sarebbe proficuo completare queste attività così meritevoli realizzando piccole strutture espositive distribuite (all'interno dei Dipartimenti, della Biblioteca ed anche dei locali comuni della Scuola) che consentano anche ai nostri allievi, come avviene in tante università di altri paesi, di acquisire una conoscenza diretta di queste realizzazioni.

