

C.O.D.A.S.

Centro Osservazione e Divulgazione Astronomica – Siracusa

DISPENSA

ARCHEOASTRONOMIA: IL MECCANISMO DI ANTIKYTHERA

Dispensa dell'incontro tenuto presso la sede del Codas il 22/2/2012

A cura di Sebastiano Leggio

Le immagini riportate all'interno della presente dispensa sono per puro uso didattico e divulgativo. I rispettivi autori sono indicati al termine del documento e ne preservano tutti i diritti. Questa dispensa è liberamente distribuibile nei termini della licenza Creative Commons citandone fonte ed autore.

Storia del ritrovamento

La storia del meccanismo di Antikythera comincia nell'anno 1900. In quell'anno, a causa di una tempesta, un gruppo di pescatori di spugne dovette riparare sull'isoletta greca di Antikythera. I palombari decisero di effettuare delle immersioni sul posto e, inaspettatamente, trovarono i resti di un antico relitto romano. Si trattava di un'antica galera, insolitamente grande e carica di materiali. Furono portati in superficie bronzi, sculture, ceramica e uno strano marchingegno concrezionato al punto da sembrare quasi una roccia. Inizialmente si pensò che fosse qualche meccanismo della nave. La nave fu datata al I sec. a.C. Sebbene i reperti a bordo, al momento del naufragio, erano di varie epoche storiche: dal IV al I sec. a.C.



Figura 1 - L'ingranaggio principale al museo di Atene (fonte: Wikipedia)

Date anche le dimensioni della nave, che poteva attraccare in pochi porti attrezzati, si pensò ai materiali per una marcia di trionfo da svolgersi a Roma. I materiali furono esposti al museo archeologico di Atene e, ad un'attenta osservazione ci si rese conto che il meccanismo misterioso aveva delle ruote dentate dallo scopo non meglio precisato. Bastava questo a sollevare una serie di domande: da dove veniva? Chi lo aveva costruito? A cosa serviva?

Gli studi di Price

Bisognerà attendere gli anni '50 affinché lo scienziato Derek de Solla Price studi il meccanismo di Antikythera in maniera sistematica ed approfondita. E' un'impresa che lo impegnerà per venti anni.

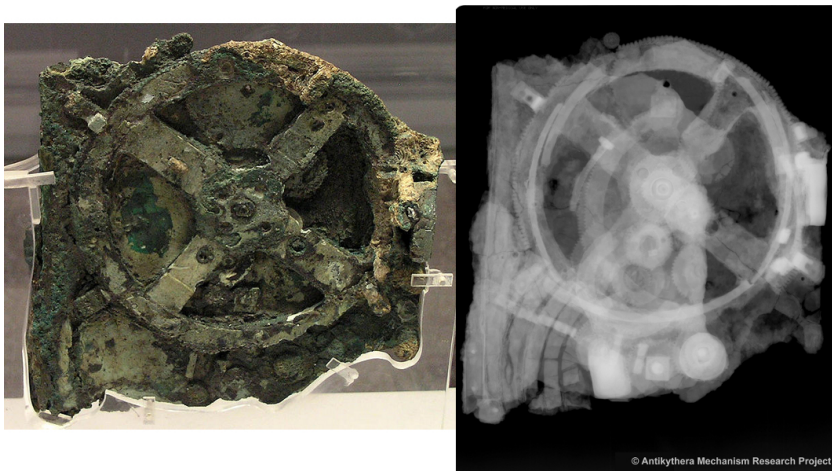


Figura 2 - Radiografia (fonte: studi Derek de Solla Price)

Dal momento che il reperto risulta "saldato" in maniera indissolubile, decide di utilizzare le radiografie per esplorarne l'interno. Le immagini sono sconcertanti e rivelano che all'interno del reperto si trovano almeno 27 ruote dentate di varie dimensioni. Basta già questo per riscrivere la storia della tecnologia antica e l'opinione che si aveva dell'evoluzione

tecnologica nel periodo ellenistico. Gli studi di Price si concentrano sulle ruote dentate, sul numero dei denti, sui loro collegamenti, sui rapporti numerici che erano in grado di simulare e soprattutto

cerca analogie tra i rapporti numerici delle ruote dentate e quelli conosciuti dall'astronomia greca dell'epoca.

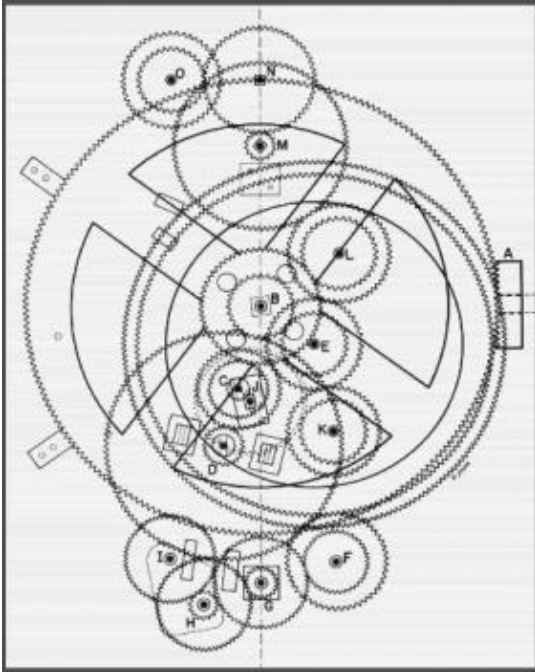


Figura 3 - Schema delle ruote dentate (de Solla Price)

In periodo ellenistico la maggior parte dei filosofi e scienziati propendevano per un sistema geocentrico. Questo però non precludeva attente osservazioni dei moti della volta celeste e sofisticate teorie per cercare di spiegarne i movimenti e le anomalie.

Alla fine del suo lavoro di studio, Price fa una precisa ipotesi sulla funzione del meccanismo (oltre al frammento principale ne erano stati recuperati altri minori per un totale di circa 30 ingranaggi e 80 frammenti).

Ipotizza che si trattasse di un simulatore astronomico, una sorta di computer meccanico, azionato a mano con una manovella che metteva in movimento tutte le ruote dentate ed era in grado di visualizzare i movimenti degli

rimanevano tracce).

astri. La macchina era fatta di bronzo, con due coperchi, sui due lati, anch'essi di bronzo e contenuta in un involucro di legno andato distrutto (di cui però

Grazie all'attenta analisi non solo delle ruote dentate ma anche di vari frammenti incisi e di alcune iscrizioni, scarsamente leggibili, Price spiega che la macchina possedeva tre quadranti: uno sul lato frontale e due su quello posteriore. Il quadrante frontale era dotato di due scale graduate. La prima, fissa, era divisa da 360 tacche e indicava i nomi delle costellazioni dello zodiaco. La seconda, mobile, era divisa da 365 tacche e indicava i nomi dei mesi del calendario egiziano.

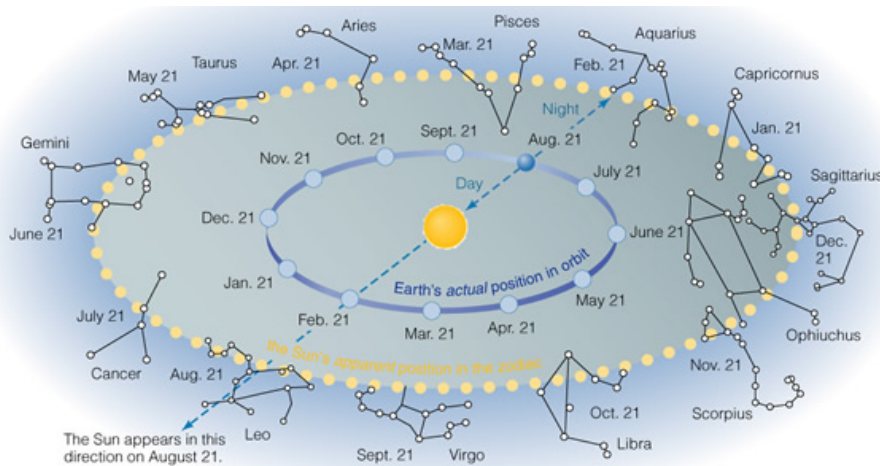
Figura 4 - Quadrante frontale (fonte: Orologiko.it - Antikythera Project)



I Greci, in campo astronomico, facevano largo uso del calendario egiziano, composto di 12 mesi da 30 giorni cui si aggiungevano ulteriori 5 giorni detti epagomeni. Questo calendario risultava impreciso in quanto un anno dura circa 365,25 giorni. Price scoprì delle tacche di fissaggio

che permettevano di ruotare e fissare il calendario per correggere questo errore. Un indicatore ruotava sopra il calendario indicando la data desiderata. Il calendario aveva altre quattro tacche aggiuntive che indicavano le date dei solstizi e degli equinozi. Inoltre vi erano vari simboli in corrispondenza di determinate date. Dallo studio epigrafico del coperchio frontale e delle lettere intorno al quadrante, risultò chiaro che si trattava di un “parapegma”, il predecessore degli odierni almanacchi. I simboli mostravano la date del verificarsi di particolari eventi (ad es. il sorgere eliaco di Sirio). Questi erano importanti sia per uso religioso che per i cicli della vita contadina.

Figura 5 - Moto apparente del Sole



Price spiegò, poi, che due indicatori, ruotando, indicavano la posizione del Sole e della Luna, proiettate sullo zodiaco rispetto alla Terra posta al centro del quadrante.

Sul retro, in base all'interpretazione delle iscrizioni, pose un quadrante per le fasi lunari e individuò un

secondo sistema di calendario, il calendario metonico. Tale calendario era utilizzato per lo studio del moto lunare.

Quando si osserva il nostro satellite ci si rende presto conto che il suo moto è piuttosto complicato. Viene chiamato mese lunare sinodico il periodo di tempo che intercorre tra una luna nuova e la successiva. Questo periodo è in media di 29,5 giorni, D'altro canto si può misurare anche il periodo che occorre alla luna per ritornare nella stessa posizione in cielo, in circa 27,3 giorni.

Questi numeri essendo frazioni di giorni davano non pochi problemi di calcolo agli astronomi antichi e, a maggior ragione, mal si prestavano per essere simulati con un sistema di riduzioni o moltiplicazioni basato su ruote dentate. Le osservazioni avevano, però permesso di identificare un più agevole “ciclo metonico”, di 19 anni durante i quali si verificavano quasi esattamente 253 lunazioni.

All'interno del quadrante metonico venne anche individuato in quadrante più piccolo. Price ipotizzò che si trattasse del “ciclo callippico”, un miglioramento del metonico grazie ad una maggiore precisione riscontrabile in un periodo di 4 cicli metonici, quindi $4 \times 19 = 76$ anni. Price riuscì anche a ricostruire una riproduzione della sua ipotesi del meccanismo.



Figura 6 - Derek de Solla Price e la sua ricostruzione

Negli anni '70 delle nuove immersioni per opera del subacqueo francese Jacques Costeau consentirono anche di recuperare nuovi

reperiti e frammenti, tra questi delle monete che permisero di datare il relitto intorno alla metà del I sec. a.C.

A quell'epoca una delle ipotesi più in voga sulla costruzione del meccanismo era che fosse stato ideato dall'astronomo Gemino da Rodi.

Gli studi recenti

Bisognerà attendere anni recenti e nuove tecniche di indagine per avere decisi passi avanti nello studio del meccanismo di Antikythera. Da alcuni anni è stato istituito un team di ricerca internazionale, l'Antikythera project che dispone di un proprio sito internet su cui viene pubblicato molto materiale relativo agli studi.

E' grazie a questo team di scienziati che nel 2006 si sono applicati nuovi e costosi metodi di indagine al meccanismo.

Gli ingranaggi sono stati sottoposti ad un'analisi CT (X-ray computed tomography). Si tratta di un'avanzatissima tecnica ai raggi X che consente di vedere all'interno di un oggetto a varie "risoluzioni di profondità". I risultati furono sbalorditivi e portarono all'identificazione di nuove ruote dentate non ancora osservate e di cui non si conosceva lo scopo.

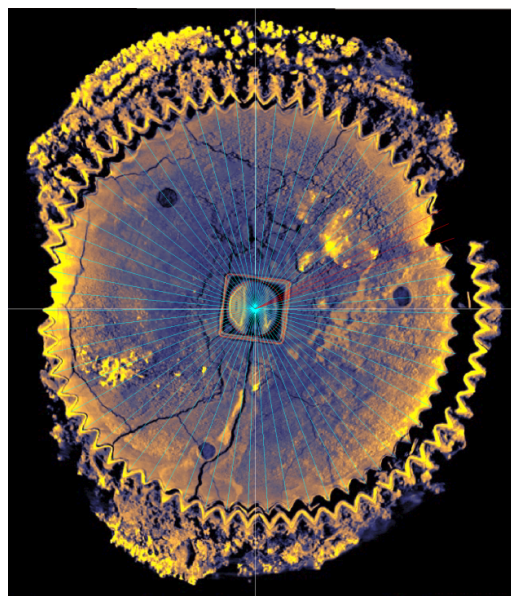


Figura 7 - Analisi CT (fonte: Antikythera Project/BBC)

Proprio per cercare una chiave di interpretazione di questi nuovi dati si pose nuovamente l'attenzione alle tante ed illeggibili iscrizioni e si applicò ai frammenti la tecnica PTM (Polynomial Texture Mapping), già utilizzata nel campo dello studio dei dipinti antichi. Questa tecnica fotografa ogni frammento con dei flash da oltre 50 angolazioni distinte ed elabora poi tutti i dati per mezzo di

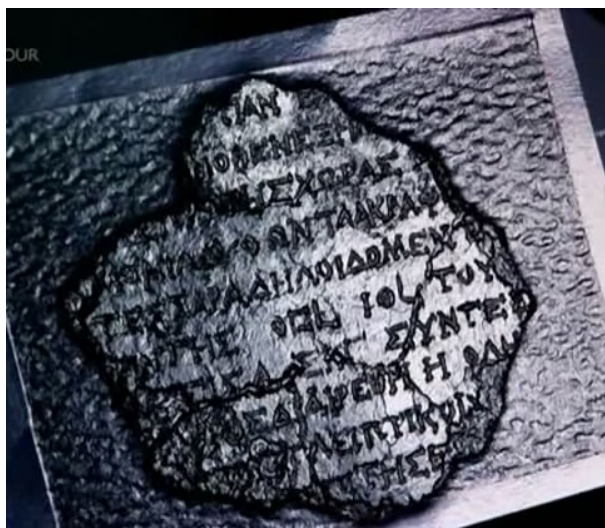


Figura 8 - PTM delle iscrizioni (fonte: Antikythera Project/BBC)

un computer. Quasi magicamente tantissime scritte cominciano a prendere forma e ci si rende conto che non solo la parte frontale del meccanismo conteneva il parapagma, l'almanacco astronomico ma anche che i due coperchi di bronzo, contenevano delle vere e proprie "istruzioni d'uso".

L'analisi di un grosso frammento, denominato "F" è poi la chiave per rivedere alcune ipotesi di price sui quadranti posteriori del meccanismo. Si può finalmente vedere la suddivisione in tacche del quadrante posteriore e si ricostruisce una spirale

divisa in 223 celle.

Per gli studiosi di astronomia antica si tratta di un

numero illuminante in quanto 223 è il numero di mesi lunari che compongono il “ciclo di Saros” che era utilizzato per prevedere le eclissi.

La previsione delle eclissi di Sole e di Luna è particolarmente complessa in quanto non solo la terra ruota intorno al sole e la luna intorno alla terra ma il piano orbitale della luna è anche inclinato rispetto al piano dell’eclittica formato dal sole e dalla terra. Questo fa sì che si possano verificare delle eclissi soltanto in particolarità di particolari punti orbitali, detti “nodi lunari”.

Questo fa sì che si possano verificare delle eclissi soltanto in particolarità di particolari punti orbitali, detti “nodi lunari”.

Questo aspetto della meccanica celeste era ancora sconosciuto all’astronomia ellenistica ed al sistema geocentrico. Nonostante queste osservazioni prolungate delle eclissi consentivano di determinare una ciclicità empiricamente. Gli archivi di annotazioni astronomiche greche erano troppo ridotti nel tempo per permetterlo, per questo

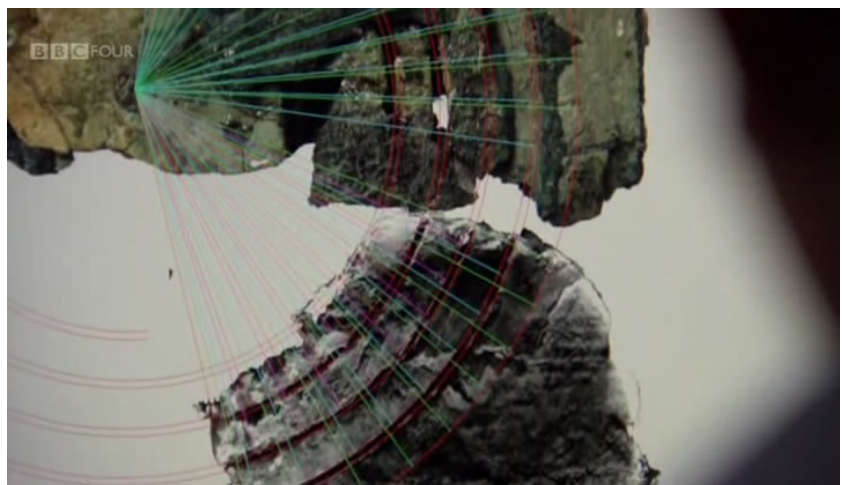


Figura 9 - Quadrante del Saros (fonte: BBC)

motivo si attinse a piene mani all’antica saggezza babilonese.

Questo antico popolo, vissuto millenni prima di Cristo, era stato un grande osservatore del cielo e ci ha lasciato un’eredità di migliaia di tavolette di terracotta, incise in caratteri cuneiformi, con annotati fenomeni astronomici. Queste osservazioni prolungate gli permisero, appunto, di individuare questo ciclo di Saros: dopo 223 mesi lunari (circa 18 anni) le eclissi si ripetono con caratteristiche simili.

Il quadrante spiraliforme del Saros, sul meccanismo di Antikythera era puntato da un indicatore

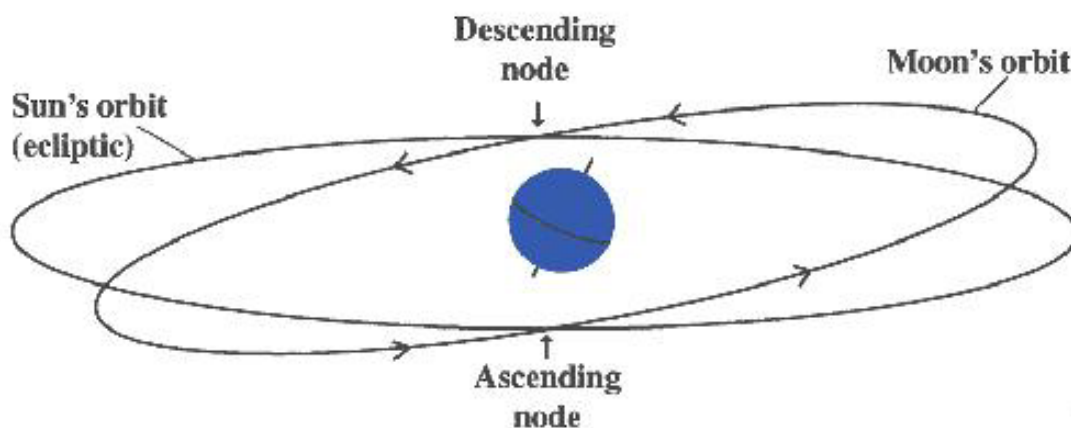


Figura 10 - Nodi lunari

mobile. Tutte le volte che si finiva su una cella con un'eclisse si potevano leggere dei simboli esplicativi. La lettera greca Sigma indicava Selene, ovvero un'eclisse lunare mentre la eta stava per Helios, un'eclisse solare. Ulteriori simboli indicavano il periodo della giornata in cui il fenomeno si sarebbe verificato.

Era ormai chiaro che la macchina poteva essere utilizzata in due maniere diverse: si poteva girare la manovella fino alla data interessate e poi verificare sui vari quadranti i fenomeni astronomici del giorno oppure si poteva girare la manovella fino ad un determinato evento astronomico di interesse e poi verificare con l'indicatore in quale data si sarebbe verificato.

Le eclissi avevano un grande significato simbolico: riti religiosi o anche guerre venivano decisi in base a questi fenomeni astronomici. Prova ne è la disastrosa sconfitta subita dall'ateniese Nicia presso Siracusa per aver prolungato la sua permanenza a causa di una "infausta" eclissi di Luna.

In realtà il ciclo di Saros non è precisissimo. Sebbene ci segnali il ripetersi delle eclissi, queste risultano traslate di 8 ore e 120°.

Veniva in aiuto un ulteriore ciclo detto Exeligmos, individuato da lì a poco come quadrante supplementare del Saros nel meccanismo di Antikythera. Questo era composto da 3 Saros ovvero 669 mesi lunari. Per ogni Exeligmos era sufficiente correggere gli orari di 8 ore, ovvero 1/3 di giornata.

La lettura delle iscrizioni sull'altro quadrante posteriore, quello del ciclo metonico, permetteva di leggere all'interno delle singole celle i nomi dei mesi e, a sorpresa, ci si rese conto che i nomi in greco erano in dialetto corinzio. Questa scoperta portava a rivedere del tutto il luogo di costruzione del meccanismo. Se prima lo si riteneva proveniente da Rodi o dalle colonie della Ionia, adesso

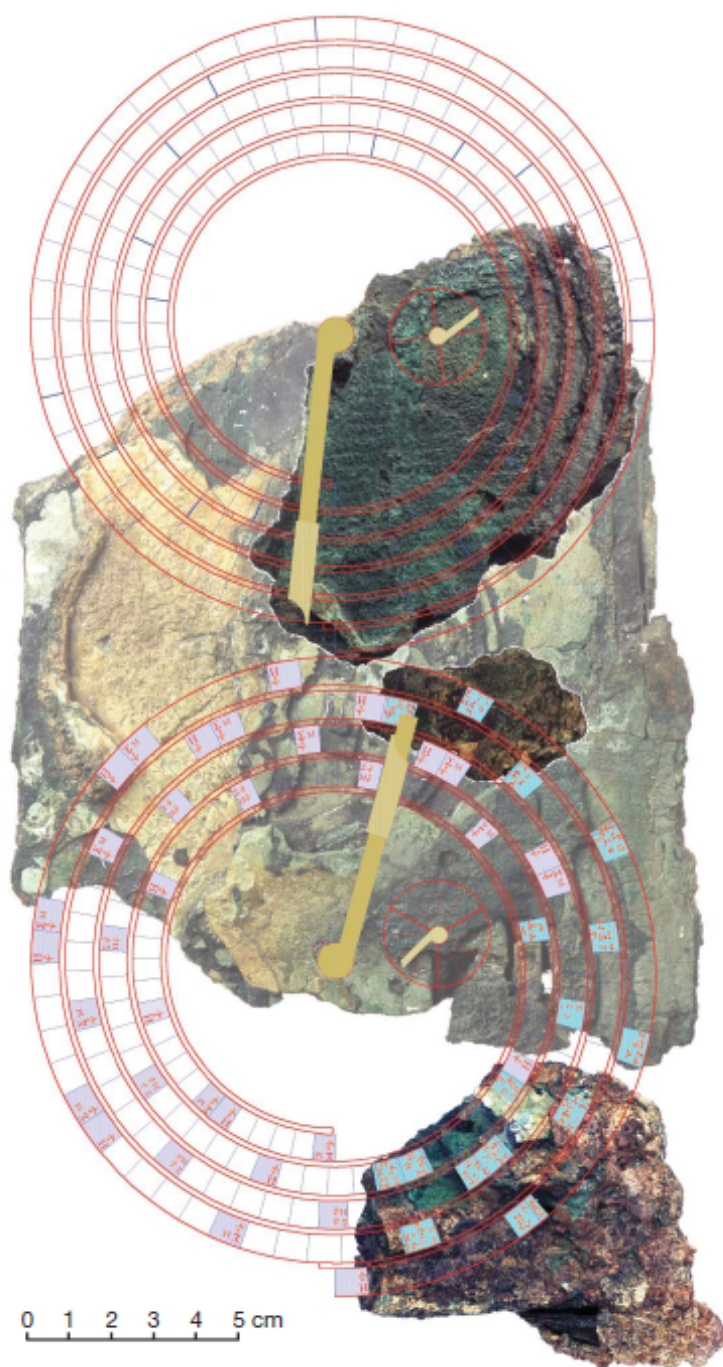


Figura 11 - Pannello posteriore (fonte: Nature)

era quasi certa la provenienza da Corinto o da una delle sue colonie. A seguito di questi indizi la rivista *Nature* pubblicò un articolo in cui ipotizzava la provenienza da Siracusa, la maggiore delle colonie di Corinto. Questo anche perché soltanto un personaggio assolutamente geniale poteva ideare un simile strumento e Archimede, grazie agli studi condotti anche in campo astronomico, era un candidato di primo ordine. Tra l'altro sappiamo che Archimede costruì un planetario che il console Marcello fece rimuovere da Siracusa a seguito della caduta della città. Alla luce di tutto questo la descrizione di Cicerone sembra inquietantemente simile al meccanismo di Antikythera.

« In realtà, quando Archimede racchiuse in una sfera i movimenti della luna, del sole e dei cinque pianeti, fece lo stesso che colui che nel *Timeo* edificò l'universo, il dio di Platone, e cioè che un' unica rivoluzione regolasse movimenti molto diversi per lentezza e velocità. E se questo non può avvenire nel nostro universo senza la divinità, neanche nella sfera Archimede avrebbe potuto imitare i medesimi movimenti senza un'intelligenza divina. »

(Cicerone, *Tusculanae disputationes* I, 63)

Ultima novità negli studi fu la revisione del quadrante minore sul calendario metonico. Price aveva ipotizzato che si trattasse del ciclo callippico. Grazie alla lettura delle iscrizioni si sapeva adesso che era un indicatore per gli anni dei giochi sportivi panellenici: le Olimpiadi, i giochi Delfici, i giochi Istmici e i giochi di Nemea. Si ipotizza comunque che vi fosse anche un piccolo quadrante Exeligmos oggi andato perduto.

Una brillante intuizione ha permesso recentemente di capire anche il funzionamento di una strana ruota dentata dotata di un piolo. Gli studiosi hanno chiamato questo meccanismo "pin & slot". Si tratta di una rotazione a velocità variabile in grado di simulare il moto non uniforme della Luna dovuto alla sua orbita ellittica. Gli antichi non avevano ancora ipotizzato questa particolarità dell'orbita ma, anche in questo caso, le osservazioni empiriche avevano rilevato le caratteristiche del moto lunare.



un ingranaggio che grazie al piolo permette

Figura 12 - Meccanismo pin & slot (fonte: Antikythera Project)

Ipotesi ricostruttiva 2013

Sono stati costruiti ormai numerosi modelli della macchina di Antikythera. Alcuni di questi si trovano nei musei come Atene, Milano, Berlino ecc.

Alla luce degli studi odierni gli studiosi sono abbastanza concordi nell'ipotizzare l'aspetto originario della macchina. Si trattava di un meccanismo di bronzo, grande circa 15x30 cm e spesso

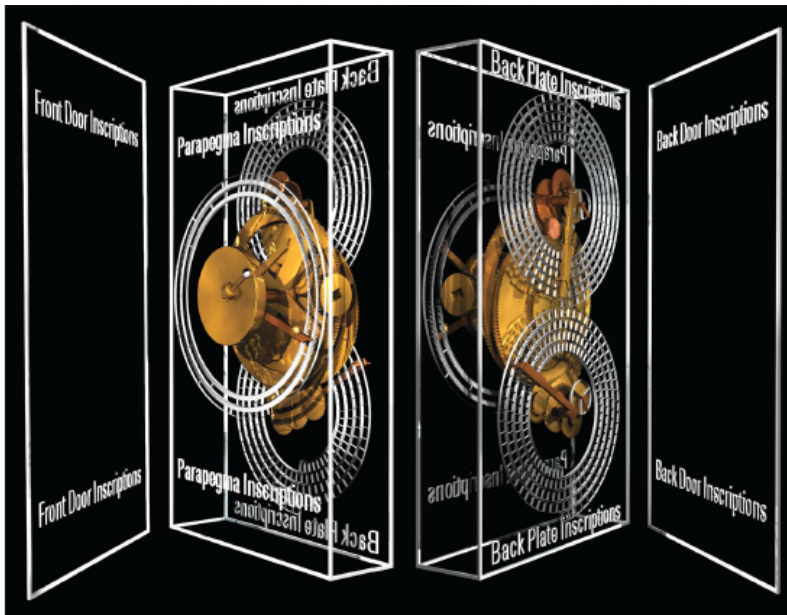


Figura 13 - Schema ricostruttivo

fenomeni astrali. Altri due indicatori segnavano il moto del sole proiettato sulle costellazioni dello zodiaco e quello della luna. Dalle iscrizioni sappiamo che la sferetta che indicava la luna ruotava indicando anche la corretta fase lunare.

Sul lato posteriore vi erano due quadranti spiraliformi. Il primo conteneva il ciclo di Saros e un indicatore permetteva di segnalare le eclissi di Sole e di Luna. Al suo interno, un quadrante più piccolo, segnava l'Exeligmos per effettuare correzioni sugli errori del Saros.

Il secondo grande quadrante segnava il ciclo lunare metonico. Al suo interno, un quadrante più piccolo indicava le date dei giochi sportivi panellenici.

Studi futuri

Non tutto è stato ancora scoperto sul meccanismo di Antikythera. I modelli attuali non tengono conto di una ulteriore ruota dentata di cui ancora non è stata identificata la funzione. Inoltre, al momento, solo il 95% delle iscrizioni pervenute è stato identificato e solo una parte pubblicata.

Le iscrizioni ci dicono che oltre al sole ed alla luna, sul quadrante frontale, degli indicatori con delle perline colorate indicavano la posizione dei pianeti visibili ad occhio nudo (Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno) tra le stelle. La citazione tra le scritte dà praticamente per certo questo ulteriore meccanismo che poneva grandi problemi di complessità. Oltre a dover simulare la rotazione differenziale come nel caso della Luna (cosa che richiese 4 ingranaggi oltre al meccanismo pin & slot), nel caso della

come un libro. Le due facciate-quadranti avevano dei coperchi di chiusura in bronzo al cui interno vi erano delle iscrizioni con istruzioni di funzionamento del meccanismo. L'intera macchina era contenuta in un involucro di legno ed era azionata da una manovella laterale che metteva in movimento tutti gli ingranaggi (30 trovati, ma forse ve ne erano addirittura 50!). Sul lato frontale vi era un quadrante con degli indicatori mobili. Un indicatore segnava la data sul calendario egizio, indicando anche equinozi, solstizi e particolari



posizione apparente dei pianeti occorre tenere conto dei periodi di “moto retrogrado”. Inoltre i pianeti interni, Mercurio e Venere, non si scostano mai più di 40° dal Sole. Questo comportamento fu spiegato nel sistema tolemaico ipotizzando degli “epicicli” sulle orbite geocentriche.

A fine del 2012 sono state autorizzate nuove ricerche subacquee e la speranza è che questo rivoluzionario computer astronomico costruito dagli antichi, abbia ancora tanto da svelarci.

Foto credits: Antikythera Project, BBC, Nature, Wikipedia, Orologio.it, Tony Freeth

BIBLIOGRAFIA

- *Decoding the Antikythera Mechanism, in Nature, Volume 444, Issue 7119, pp. 587-591 (2006)*
- *On the Pin-and-Slot Device of the Antikythera Mechanism, in JHA, xliii (2012)*
- *Le idee dell’astronomia, Arpino M., Nostronomics*
- *The Antikythera Mechanism, a new gearing scheme, in Bulletin of the Scientific Instrument Society No. 85 (2005)*
- *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism, in Nature, Volume 454, pp. 614-617 (2008)*
- *An Ancient Greek Computer, de Price, Derek Solla J. , Scientific American, Volume 200, p.66, (1959)*
- *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism — A calendar computer from ca. 80 BC, de Price, Derek Solla J. , Transactions of the American Philosophical Society, New Series, Volume 64, Issue 7, p.70, (1974)*
- *Enciclopedia dell’astronomia Fabbri*
- *Scake fino alle stelle, Aveni A.*
- *Astronomia, Cavedon M.*
- *Diomidis Spinellis. The Antikythera mechanism: A computer science perspective. IEEE Computer, 41(5):22–27, May 2008*
- *The Cosmos in the Antikythera Mechanism, ISAW Papers 4 (February, 2012)*

Tantissimi dati e una sterminata bibliografia è reperibile online sul sito dell’Antikythera Project: <http://www.antikythera-mechanism.gr>

Le diapositive proiettate nel corso dell’incontro svoltosi al Cudas sono scaricabili dal sito dell’associazione: www.codas.it

Nel corso dell’incontro sono stati proiettati due video ricostruttivi del meccanismo. Sono opera di Massimo Mogi Vicentini e sono reperibili online all’indirizzo: <http://www.mogi-vice.com/Antikythera/Antikythera-it.html> .

Autore della dispensa: Sebastiano Leggio – CODAS – seleggio@tiscali.it