

L'OROLOGIO DELLE STELLE

*Il Meccanismo di Antikythera
quando la scienza parlava greco*

Il Meccanismo di Antikythera

Siamo più evoluti dei dinosauri?

Un viaggio fortunato

PROPRIETÀ:

A.P.S. "Il C.O.S.Mo" (Circolo di Osservazione Scientifico-tecnologica di Modena)

C.F.:94144450361

RESPONSABILE:

Davide Borghi

REDAZIONE:

a cura del Consiglio Direttivo

SITO INTERNET:

www.ilcosmo.net

CONTATTI:

info@cosmo.net

COSTO:

Gratuito sul WEB

CONSIGLIO DIRETTIVO:

Leonardo Avella

Davide Borghi

Luigi Borghi

Roberto Castagnetti

Ciro Sacchetti

Questa rivista, le copie arretrate, i suoi articoli e le sue rubriche, non possono essere duplicati e commercializzati.

È vietata ogni forma di riproduzione, anche parziale, senza l'autorizzazione scritta del circolo "Il C.O.S.Mo".

La diffusione all'esterno del circolo è vietata.

Può essere utilizzata solo dai soci per scopi didattici.

SOMMARIO**IN QUESTO NUMERO:****ARCHEOLOGIA****Il Meccanismo di Antikythera**

Una rivoluzione nella comprensione delle Capacità Greche Antiche

di Leonardo Avellapag. [5](#)

PLANETOLOGIA**Siamo più evoluti dei dinosauri?**

Come il tempo di preavviso e la composizione degli asteroidi determinano le strategie di difesa planetaria

di Roberto Castagnettipag. [22](#)

DIARI DI VIAGGIO**Un viaggio fortunato**

Appuntamento riuscito con il cielo danzante del Nord

di Antonio Melandri.....pag. [33](#)

GLI EVENTI DEL C.O.S.Mo

L'elenco dei prossimi eventipag. [42](#)

IN COPERTINA

Ruota motrice principale del meccanismo di Antikythera, Credit: Museo archeologico nazionale di Atene





Stregati dalla Scienza

Nella serata **"Stregati dalla Luna"** abbiamo celebrato la Giornata Mondiale della Luna con un mix di rigore scientifico e passione, proprio in corrispondenza dell'anniversario dello Sputnik. Il CICAP ha scelto il planetario di Modena e la nostra associazione come riferimento per l'evento nazionale. La conferenza in cupola di **COSMo** e **CESDA** è stata l'occasione per ricordare che la corsa allo spazio non è solo storia, ma anche presente e futuro.

A proposito di futuro: nelle quattro conferenze del ciclo **"Un altro equinozio con il COSMo"**, ospitate al planetario in autunno, abbiamo esplorato temi legati al domani, prossimo e remoto.

Se la nostra cena sociale ci ha riportato — almeno per una sera — con i piedi per terra (e sotto la tavola), la presentazione al Planetario del libro *Cortocircuito di una mente fredda*, di Luigi Borghi, ha acceso riflessioni profonde sul rapporto tra pensiero umano, intelligenza artificiale ed esplorazione e colonizzazione planetaria. Un argomento che abbiamo approfondito anche nei corsi di **Intelligenza Artificiale** e di **Astrofisica e Astronautica** tenuti presso l'UTE. Infine, partecipando alla manifestazione **"Play in the City"**, abbiamo portato scienza e giochi da tavolo a tema scientifico tra i modenesi — A proposito, a primavera 2026, torneremo anche nella più capiente **PLAY** di Bologna.

Nel frattempo, il mondo là fuori non ha smesso di ... girare.

Jeff Bezos ha lanciato il suo **New Glenn**, recuperandone con successo il primo stadio ed Elon Musk sembra essere tornato a fare ciò che gli riesce meglio (e per cui è ben ricompensato).

Alla NASA è stato finalmente (ri)nominato **Jared Isaacman**, nuovo direttore, ambizioso ma con risorse limitate. Artemis II è confermata per febbraio 2026, ma la Luna non è mai stata così lontana... e così vicina allo stesso tempo.

Tra gli obiettivi dichiarati da Isaacman:

- proseguire simultaneamente le missioni su Marte e sulla Luna con il budget attuale;
- evitare di deorbitare la ISS prima del 2030 ("Dobbiamo sfruttarla al massimo finché ce l'abbiamo");
- rendere la NASA sempre più autosufficiente;
- dare priorità alla propulsione nucleare;
- reclutare nuove menti brillanti; utilizzare i social media per promuovere le missioni e ispirare i giovani;
- rafforzare il monitoraggio e la rimozione dei detriti spaziali;
- aumentare l'esplorazione del Sistema Solare con sonde, rover e telescopi.

Staremo a vedere quali risultati arriveranno.

E noi? Continuiamo a fare la nostra parte.

Stiamo preparando le **conferenze di primavera del COSMo**, lavoriamo al **Festival della Scienza di San Prospero** (domenica 17 maggio 2026), abbiamo avviato una nuova collaborazione con **Radioattiva Web Radio** e ci stiamo già organizzando per l'**eclisse totale di Sole in Spagna**, il 12 agosto (ognuno con mezzi propri, ma ben coordinati). E non dimentichiamo **PLAY a Bologna** dal 22 al 24 maggio, dove scienza e gioco si intrecciano naturalmente — soprattutto quando noi de *Il COSMo* siamo coinvolti.

In questo numero troverete articoli che vi porteranno lontano: dall'affascinante **Meccanismo di Antikythera**, che sfida le nostre idee sulla tecnologia antica, alla **Difesa Planetaria** dagli asteroidi (perché non si sa

mai), fino all'**Aurora Boreale** in Islanda... e perfino in Italia.

La scienza non vive solo nei laboratori: è nei cieli, nei libri, nei giochi e nelle domande che ci poniamo ogni giorno.

Siamo davvero, irrimediabilmente, ***stregati dalla scienza***.



Buona lettura, e buona esplorazione.

Il Presidente

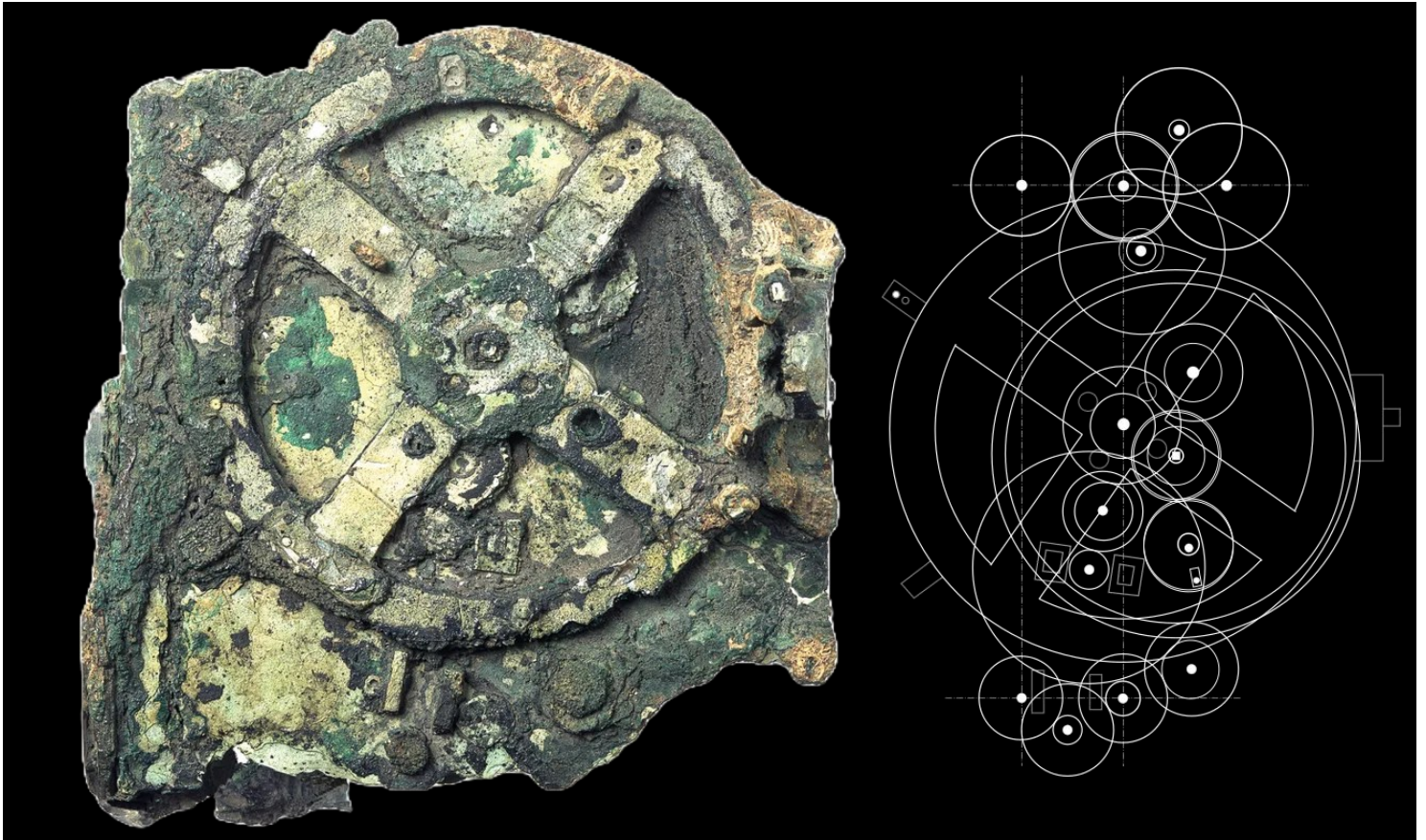
Davide Borghi

davide.borghi@ilcosmo.net

Il Meccanismo di Antikythera

Una Rivoluzione nella Comprensione delle Capacità Greche Antiche

di Leonardo Avella



UN ENIGMA DAL PASSATO CHE RIDEFINISCE IL FUTURO

Il **Meccanismo di Antikythera** è senza dubbio uno degli oggetti più straordinari giunti a noi dal mondo antico.

Non è una statua classica, né un vaso, né una mummia egizia o un gioiello prezioso, bensì un insieme di pezzi di bronzo antichi e malconci, resti di un complesso dispositivo matematico.

Ritrovato dopo aver trascorso duemila anni sotto il mare, ha completamente meravigliato gli studiosi al momento della sua scoperta, poiché non esiste nulla di altrettanto sofisticato nei reperti storici, né prima né per oltre mille anni dopo la sua creazione.

Arthur C. Clarke disse *"If the ancient Greeks had understood the capabilities of the technology, then they would have reached the moon within 300 years. And we would now be exploring the nearest stars."*

Che tradotto in italiano suona più o meno così: *"Se gli antichi Greci avessero compreso le potenzialità della tecnologia, avrebbero raggiunto la Luna entro 300 anni. E noi oggi staremmo esplorando le stelle vicine"*.

Questo ritrovamento eccezionale ha costretto a riconsiderare in profondità ciò di cui gli antichi Greci erano capaci, rivelando radici insospettate della nostra stessa scienza e tecnologia.

La sua complessità e unicità non solo dimostrano

capacità ingegneristiche e astronomiche straordinarie, ma sollevano anche domande fondamentali sulle origini delle teorie scientifiche e sulla visione greca del cosmo come una macchina.



Figura 1: Il Meccanismo di Antikythera è custodito al Museo Archeologico Nazionale di Atene.

IL RITROVAMENTO FORTUITO

La storia moderna del Meccanismo di Antikythera inizia nel 1900, quando un gruppo di pescatori di spugne, le cui attività erano fiorenti in tutto il Mediterraneo, fu colto da una tempesta e costretto a ripararsi vicino all'isola di Antikythera.

Antikythera è un'isola che prende il nome dalla

sua sorella maggiore, Kythera, e vuol dire letteralmente "di fronte a Kythera".

Antikythera è nel sud est della Grecia, come si può vedere nelle immagini seguenti.

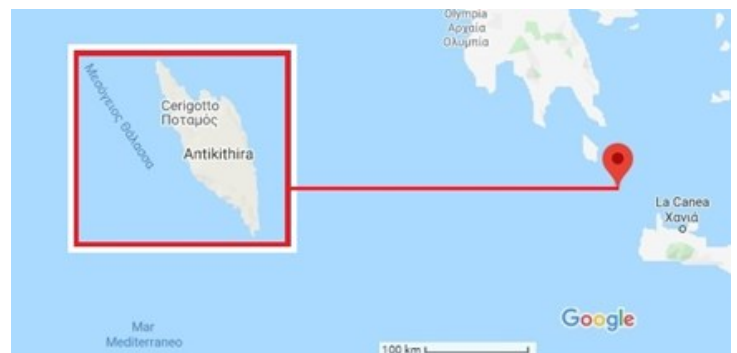


Figura 2: Il luogo della scoperta

Dopo che la tempesta si placò, uno dei subacquei scese in acqua e riemerse terrorizzato, raccontando di aver visto un mucchio di donne e cavalli morti e nudi sul fondo del mare. Il capitano, sceso a sua

volta, si rese conto che non erano cadaveri, ma statue di bronzo e marmo: avevano scoperto un antico relitto carico di tesori.



Figura 3: I pescatori di spugne greci che scoprirono il relitto di Antikythera nel 1900

Riportato alle autorità greche, il ritrovamento diede

il via alla prima indagine archeologica subacquea di un relitto, rendendolo un evento cruciale nella storia dell'archeologia marina.

Il lavoro fu estremamente pericoloso. Durò dieci mesi; un sommozzatore morì per embolia gassosa ed un altro rimase paralizzato, ma portarono alla luce quello che all'epoca fu considerato il più incredibile bottino di oggetti antichi mai scoperto. Tra questi c'erano statue di bronzo e marmo, armature, parti di mobili, gioielli, vetri di lusso e ceramiche.

Forse anche a causa della ricchezza del carico, il Meccanismo di Antikythera, un ammasso di bronzo corrosivo, fu inizialmente trascurato.

Fu solo nel **maggio del 1902** che un visitatore del museo di Atene notò un frammento di questo "grumo di bronzo" che si era rotto, rivelando al suo interno gli incredibili resti di intricati ingranaggi e scale di misurazione, oltre a numerose iscrizioni.

Questo ritrovamento fu immediatamente riconosciuto come straordinario: non esisteva nessun altro



Figura 4: Gli 82 frammenti recuperati del Meccanismo di Antikythera

esempio di ingranaggio o scala di misurazione sopravvissuto dal mondo antico.



Figura 5: Meccanismo di Antikythera (Il frammento più grande)



Figura 6: I frammenti del Meccanismo di Antikythera esposti al Museo Archeologico Nazionale di Atene

LA STORIA LUNGA E TORTUOSA DELLA COMPRENSIONE DEL MECCANISMO

Il meccanismo, di fronte alla sua unicità e complessità senza precedenti, lasciò gli esperti perplessi. Dopo essere stato nascosto durante la Seconda Guerra Mondiale e poi dimenticato in un magazzino, fu riscoperto da **Derek J. de Solla Price** negli anni '50.

Price, un fisico divenuto professore di storia della scienza, fu affascinato dalla storia degli strumenti scientifici, in particolare quelli astronomici.

Lavorando con un ricercatore in Grecia, Price riuscì a leggere ulteriori iscrizioni che rivelavano scale per

il calendario di 365 giorni e i 12 segni dello zodiaco. Capì che un puntatore avrebbe mostrato sia la data dell'anno che la posizione del Sole nello zodiaco.



Figura 7: Derek J. de Solla Price, con un modello del Meccanismo

Price comprese l'importanza cruciale di questa tecnologia: l'ingranaggio meccanico, fondamentale per lo sviluppo degli orologi e della Rivoluzione Industriale, aveva le sue radici nell'antica Grecia.

Definì il meccanismo di Antikythera "*spettacolare come se l'apertura della tomba di Tutankhamon avesse rivelato le parti riconoscibili e in decomposizione di un motore a combustione interna*".

Negli anni '70 un'altra svolta arrivò con l'utilizzo dei raggi X, che permise di rivelare la struttura interna dei frammenti.

Price poté contare i denti degli ingranaggi e iniziare a capire i calcoli che venivano eseguiti. Il meccanismo funzionava sul principio degli orologi, con ingranaggi che ne facevano girare altri per eseguire calcoli matematici, moltiplicando le velocità in base al numero di denti.

Price decifrò un treno di sei ingranaggi che moltiplicava la velocità di ingresso per 254/19, un numero che riconobbe come il riferimento al **ciclo metonico**, un calendario usato dai Greci per armonizzare i moti del Sole e della Luna.

Il ciclo metonico è basato sull'osservazione che 19 anni solari corrispondono (quasi) esattamente a 6940 giorni che corrispondono a 235 mesi lunari o a 254 mesi siderali.

Il mese lunare (o sinodico) è il periodo che intercorre tra due lune piene o tra due lune nuove (circa 29,5 giorni: più precisamente 29 giorni, 12 ore, 44 minuti e 3 secondi).

Il mese siderale invece è il tempo impiegato dalla Luna per compiere un'orbita completa intorno alla Terra rispetto alle stelle fisse (circa 27,3 giorni: più precisamente 27 giorni, 7 ore, 43 minuti e 11 secondi).

È chiaro che il mese lunare dura più del mese siderale dato che la terra nel frattempo si è spostata.

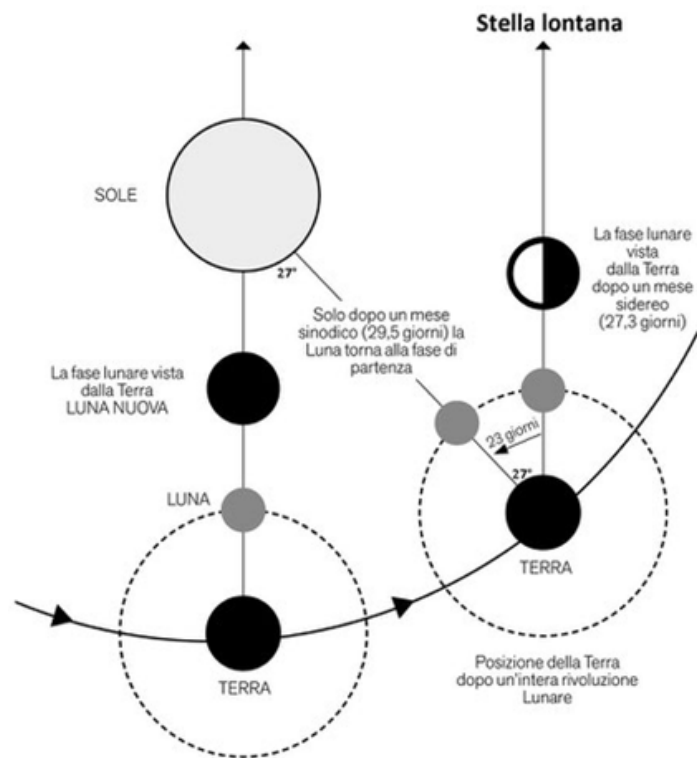


Figura 8: differenza tra il mese sinodico e il mese siderale della Luna

Ma perché è così importante il ciclo metonico?

Perché in pratica dopo tale periodo di 19 anni c'è un ritorno quasi perfetto della Luna alla stessa fase nello stesso giorno dell'anno solare.

In realtà l'allineamento non è proprio perfetto: dopo ogni ciclo di 19 anni abbiamo un errore di 2 ore e 5 minuti che corrispondono a circa un giorno ogni 219

anni (218,88 anni per l'esattezza). Un calendario basato su questo ciclo che volesse mantenersi rigorosamente lunisolare dovrebbe quindi intervallare un giorno ogni 218,88 anni.

Questo ciclo di 19 anni permetteva di sincronizzare le fasi lunari con le date solari. Price concluse che si trattava di un "computer calendario" che tracciava i movimenti del Sole e della Luna.

Il lavoro di Price fu poi approfondito da **Michael Wright**.

Michael T. Wright, (nato il 16 giugno 1948) è un ex curatore di ingegneria meccanica presso lo Science Museum e successivamente presso l'Imperial College di Londra, Inghilterra che negli anni '90 utilizzò una macchina tomografica rudimentale per ottenere immagini tridimensionali dei frammenti.



Figura 8: Michael T. Wright, curatore museale e storico della tecnologia britannico

Wright fece una scoperta fondamentale: i quadranti posteriori, precedentemente pensati come cerchi concentrici, erano in realtà spirali. Il quadrante superiore, con 235 divisioni, si rivelò un calendario lunisolare che mostrava le date di luna nuova e piena nel ciclo metonico.

In figura 9 è mostrato uno schema dei quadranti posteriori con rappresentati i frammenti sopravvissuti fino ai giorni nostri.

Mentre in Figura 10 è riportata una ricostruzione del quadrante superiore.

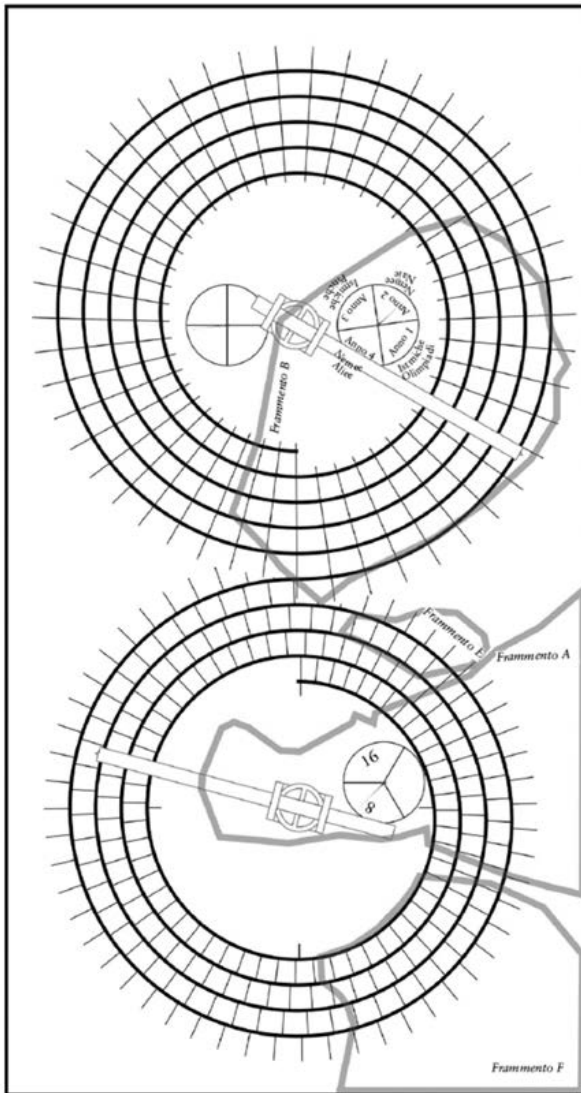


Figura 9: Schema dei quadranti posteriori

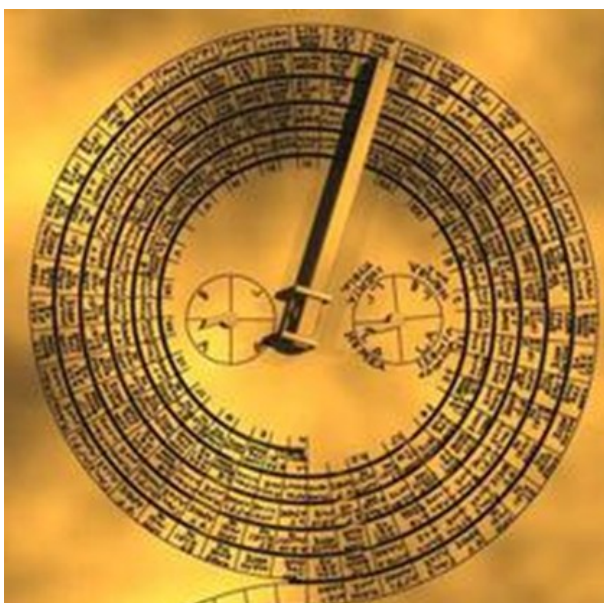


Figura 10: Ricostruzione del quadrante superiore

Un piccolo quadrante al centro di quello del ciclo metonico indicava la tempistica dei giochi atletici quadriennali, inclusi i Giochi Olimpici (Figura 11). Un'altra sorpresa, poiché non aveva nulla a che fare con l'astronomia.

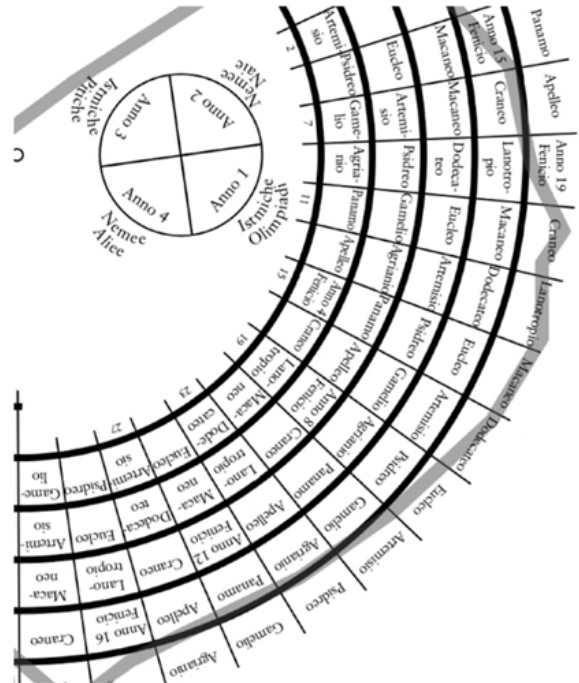


Figura 11: Dettaglio

Wright inoltre ricostruì la parte anteriore, ipotizzando una piccola sfera che ruotava per mostrare le fasi lunari.

La sua intuizione più audace riguardò la presenza di strutture rotanti sul grande ingranaggio principale, che a suo parere erano state utilizzate per rappresentare i movimenti irregolari dei pianeti.

Basandosi sulla teoria degli epicicli, secondo cui i pianeti si muovevano in piccoli cerchi mentre orbitavano attorno alla Terra, Wright propose che il meccanismo utilizzasse ruote più piccole che giravano su ruote più grandi per rappresentare questi moti erratici.

Sebbene molti ricercatori fossero scettici su tale sofisticazione attribuita agli antichi Greci, letture successive delle iscrizioni confermarono le sue idee, rivelando numeri e rapporti necessari per mostrare i pianeti in questo modo.

Per Wright, il meccanismo era un "**planetario**".



Figura 12: Rappresentazione della parte anteriore del Meccanismo di Antikythera



Figura 13: Particolare del quadrante anteriore con la sfera che riproduce le fasi lunari

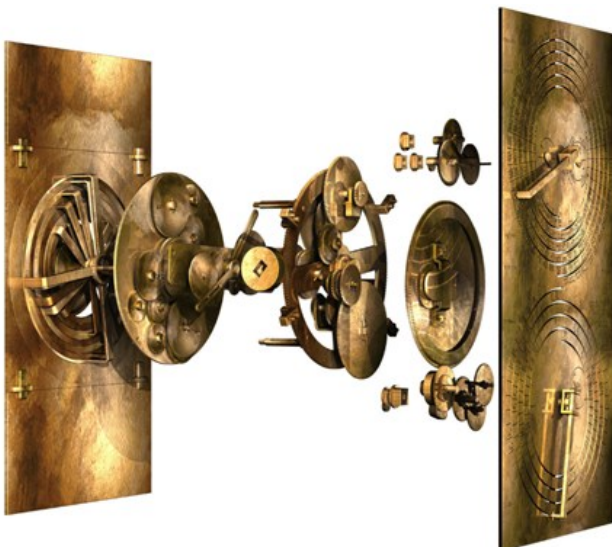


Figura 14 Esploso del meccanismo con tutti gli ingranaggi

LE ULTIME SCOPERTE: UN PREDITTORE DI ECLISSI ED UN MODELLO COSMICO

Attorno al 2004, un gruppo internazionale guidato dal cineasta e matematico **Tony Freeth**, con l'aiuto di tecnologie all'avanguardia come la tomografia computerizzata (CT) ad alta risoluzione di X-Tek (chiamata "Blade Runner") e tecniche di imaging di Hewlett-Packard per migliorare la visibilità delle iscrizioni, diede un'ulteriore svolta alla comprensione del meccanismo.

Queste tecniche permisero di creare mappe virtuali tridimensionali e di leggere quasi 3.500 caratteri di iscrizioni, fornendo l'equivalente di un "nuovo manoscritto".



Figura 15: Particolare di uno scritto presente sul meccanismo

Una nuova parte del meccanismo, trovata nel magazzino del Museo di Atene, rivelò che il quadrante a spirale inferiore aveva 223 divisioni.

Questo numero fu immediatamente riconosciuto come il **Ciclo di Saros**, utilizzato dagli astronomi greci per prevedere le eclissi.

Un ciclo di Saros è un periodo di 223 mesi sinodici, cioè circa 18,03 anni (18 anni, 11 giorni, 8 ore e 42 minuti, al termine del quale Sole Terra e Luna si trovano quasi esattamente nella stessa posizione reciproca e possono ripetersi le stesse eclissi lunari e solari. Durante un Saros avvengono 29 eclissi di

luna e 41 eclissi di sole.

Le iscrizioni supportavano questa interpretazione, indicando la possibilità di eclissi solari o lunari, l'ora del giorno o della notte, e persino dettagli sorprendenti come direzioni e colori (nero o rosso fuoco). Quest'ultimo aspetto fu una completa sorpresa, poiché la scienza non permette di prevedere il colore di un'eclissi, ma queste informazioni erano presenti nell'astrologia dell'epoca, suggerendo un aspetto astrologico del meccanismo.

Per Freeth, era in primo luogo un **"predittore di eclissi"**.

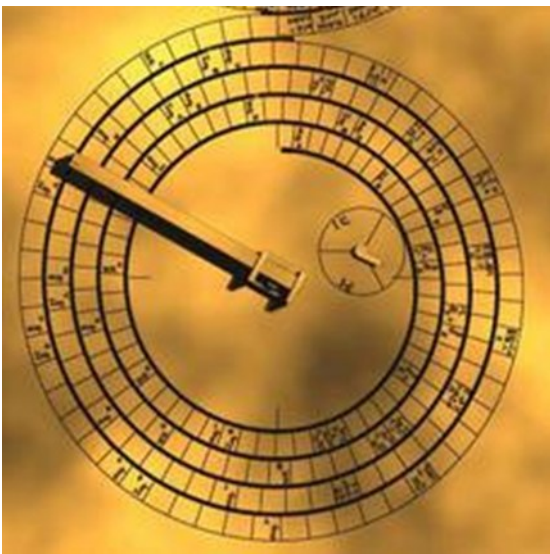


Figura 16: Particolare del quadrante di Saros

Ma la caratteristica interna più impressionante fu la scoperta di un meccanismo a perno e fessura estremamente ingegnoso. Questo dispositivo modellava la variazione di velocità della Luna nel suo percorso, accelerando e rallentando in modo matematicamente equivalente alla teoria di Ipparco del II secolo a.C.

Il fatto che i Greci avessero modellato questo movimento ellittico (senza conoscerne la natura ellittica) fu sbalorditivo.

Ma ancora più stupefacente fu la scoperta che questo meccanismo era montato su un piatto girevole che ruotava all'incirca una volta ogni nove anni, modellando la precessione dell'asse dell'orbita lunare attraverso lo zodiaco.

Tony Freeth definì questa idea *"assolutamente in-*

credibilmente sbalorditiva e sofisticata".

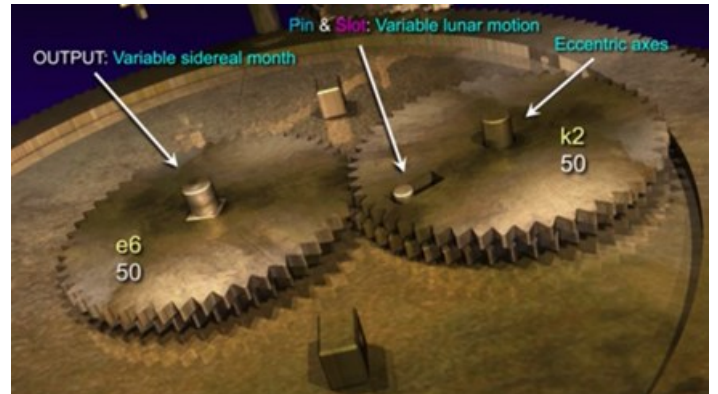


Figura 17: Particolari degli ingranaggi relativi al movimento della luna (ricostruzioni)

In sintesi, il Meccanismo di Antikythera non era solo un "computer calendario" o un "planetario" o un "predittore di eclissi", ma faceva tutte queste cose.

È stato descritto come una "sorta di antico tablet con tutte queste diverse app in un'unica scatola".

Oltre a queste funzioni, forniva anche informazioni sulle stelle e un piccolo quadrante per i giochi atletici. Lo storico Alexander Jones ha suggerito che il quadrante frontale avesse un duplice scopo: mostrare l'aspetto del cielo visto dalla Terra, ma anche fungere da modello del cosmo greco visto "dall'alto", con piccole sfere colorate che rappresentavano i corpi celesti posizionati a diverse distanze, con la Terra al centro e le stelle sullo sfondo rappresentate dalla scala zodiacale.

RAPPRESENTAZIONE COMPLETA DEL SUO FUNZIONAMENTO

Girando una manovella sul lato si attivavano tutti gli

ingranaggi del meccanismo e si muovevano le lancette sui quadranti anteriori e posteriori: le frecce in blu, rosso e giallo spiegano come si trasmetteva il moto da una ruota all'altra. Si selezionava una data sul quadrante del calendario egizio a 365 giorni sul davanti oppure sul calendario metonico a 235 mesi lunari sul retro, e quindi si leggevano le previsioni astronomiche per quel giorno (per esempio posizione e fasi della Luna) dagli altri quadranti. Oppure, si girava la manovella per impostare un evento specifico su un quadrante astronomico e vedere in quale data si sarebbe verificato. Altri ingranaggi, andati perduti e non rappresentati in questo schema, servivano forse a calcolare la posizione del Sole e di alcuni, o tutti, i cinque pianeti noti nell'antichità (Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno), mostrata per mezzo di puntatori sul quadrante dello zodiaco.

Ingranaggio primario

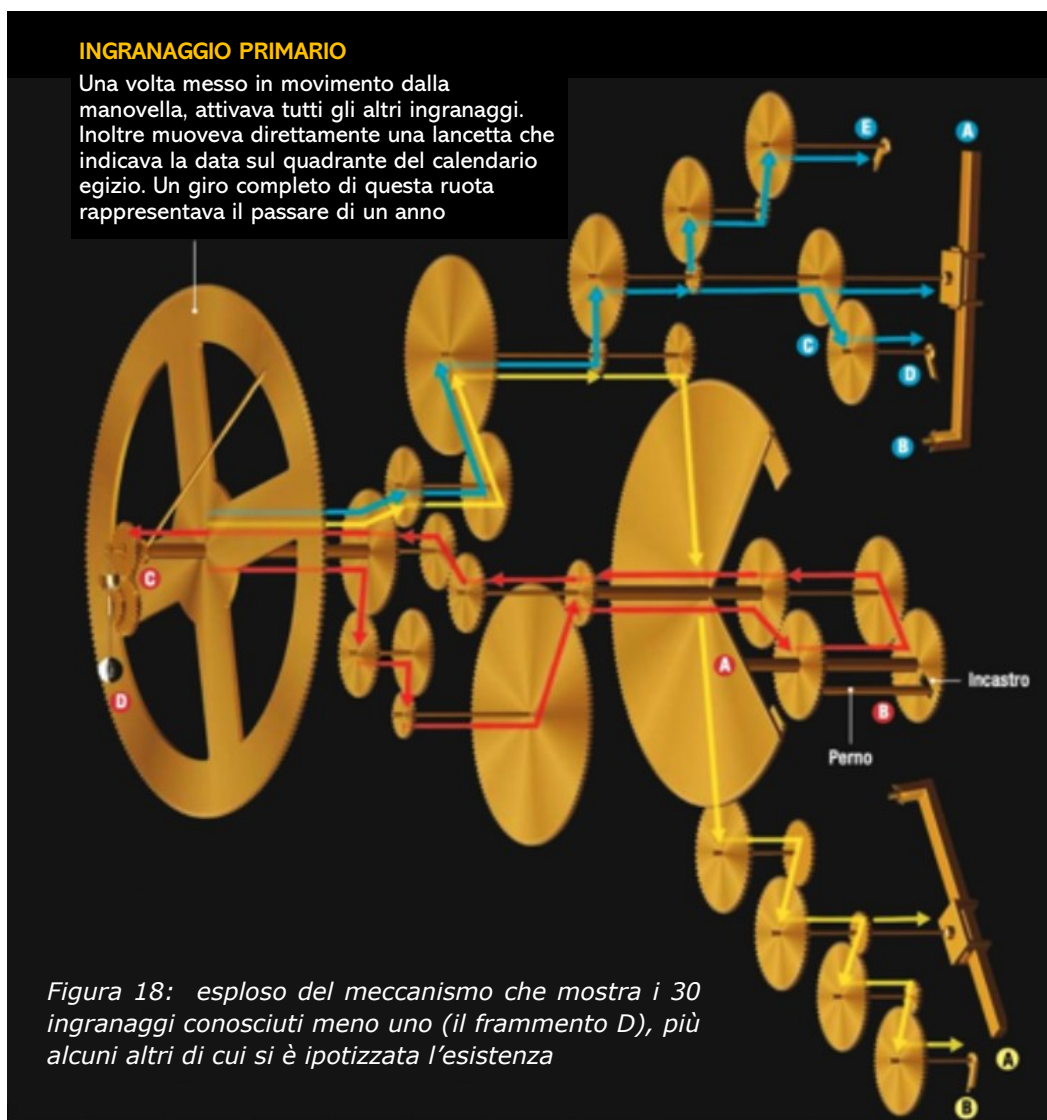
Una volta messo in movimento dalla manovella, attivava tutti gli altri ingranaggi. Inoltre, muoveva direttamente una lancetta che indicava la data sul quadrante del calendario egizio. un giro completo di questa ruota rappresentava il passare di un anno.

Il treno di ingranaggi metonici

Calcolava il mese nel calendario metonico, costituito da 235 mesi lunari, e lo mostrava mediante una lancetta (A) sul quadrante del calendario metonico posto sul retro. Un perno (B) situato sulla punta della lancetta seguiva la scanalatura a spirale, e la lancetta si estendeva in lunghezza raggiungendo i mesi indicati sulle spire successive ed esterne. Ingranaggi ausiliari (C) spostavano una lancetta (D) su un quadrante più piccolo che indicava i cicli quadriennali delle olimpiadi e di altri giochi. altri ingranaggi muovevano una lancetta su un altro piccolo quadrante (E), che potrebbe aver indicato un ciclo di 76 anni.

Il treno di ingranaggi Lunari

Un sistema costituito da ruote epicicloidali simulava le variazioni nel moto lunare che oggi sappiamo essere causate dalla velocità del satellite che cambia a causa della sua orbita ellittica. Gli ingranaggi epicicloidali erano attaccati a un ingranaggio più grande (A) come le tazze di una giostra a tazze rotanti. un ingranaggio faceva ruotare il successivo mediante un meccanismo a incastro (B). il movimento era quindi trasmesso agli altri ingranaggi e alla parte anteriore del meccanismo. Lì, un altro sistema epici-



cloidale (C) ruotava una sfera metà nera e metà bianca (D) che mostrava le fasi lunari, mentre una lancetta (E) mostrava la posizione della luna sul quadrante dello zodiaco.

Il treno di ingranaggi eclissali

Calcolava il mese nel ciclo di Saros a 223 mesi lunari delle eclissi ricorrenti. indicava il mese sul qua-

drante di Saros per mezzo di un braccio estendibile (A) analogo a quello sul calendario metonico.

Ingranaggi ausiliari muovevano una lancetta (B) su un quadrante più piccolo. la lancetta compieva un terzo di giro per ogni ciclo di 223 mesi lunari per indicare che la corrispondente ricorrenza delle eclissi era spostata di otto ore.

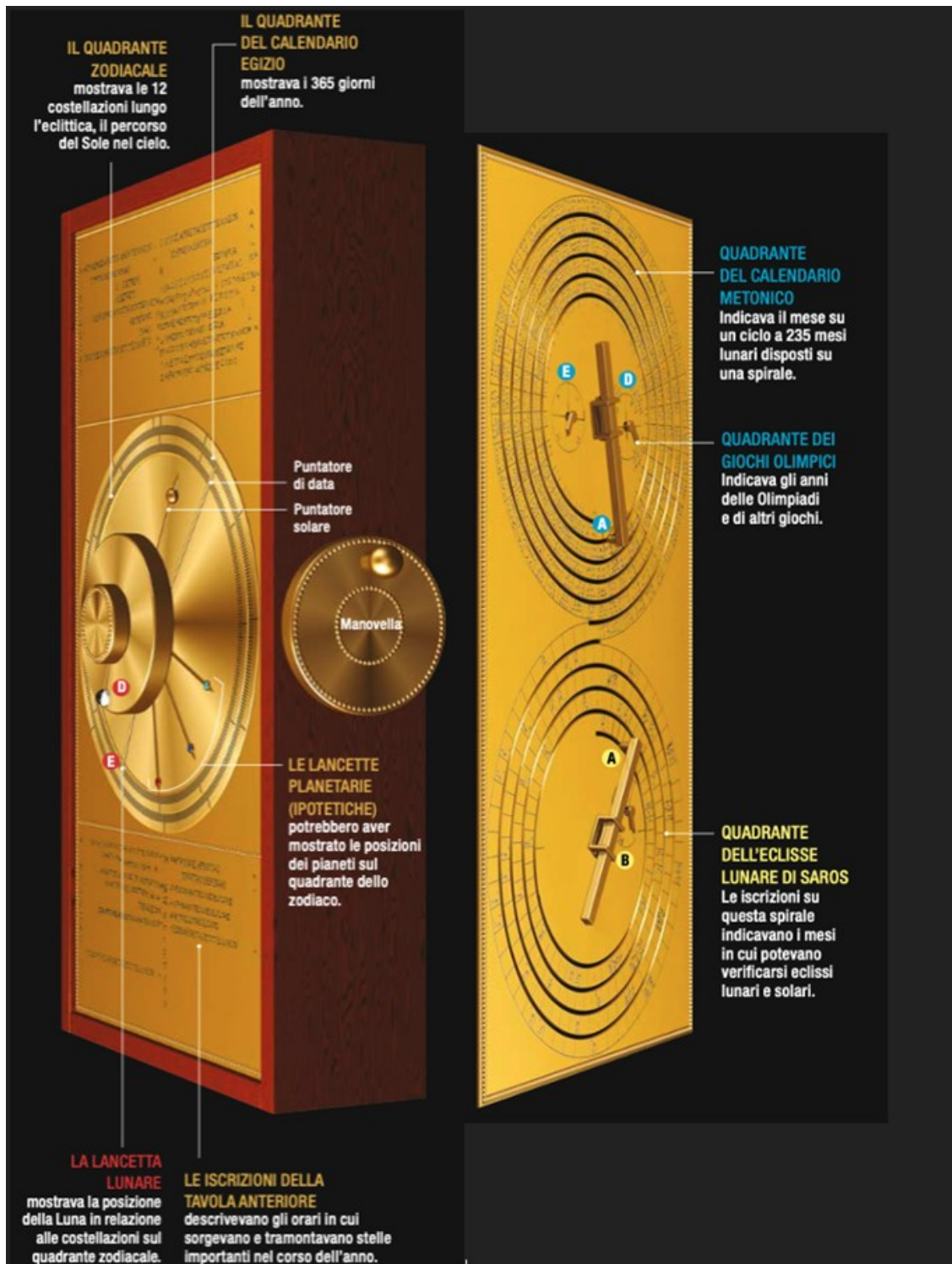


Figura 19: I pannelli anteriore e posteriore del meccanismo di Antikythera

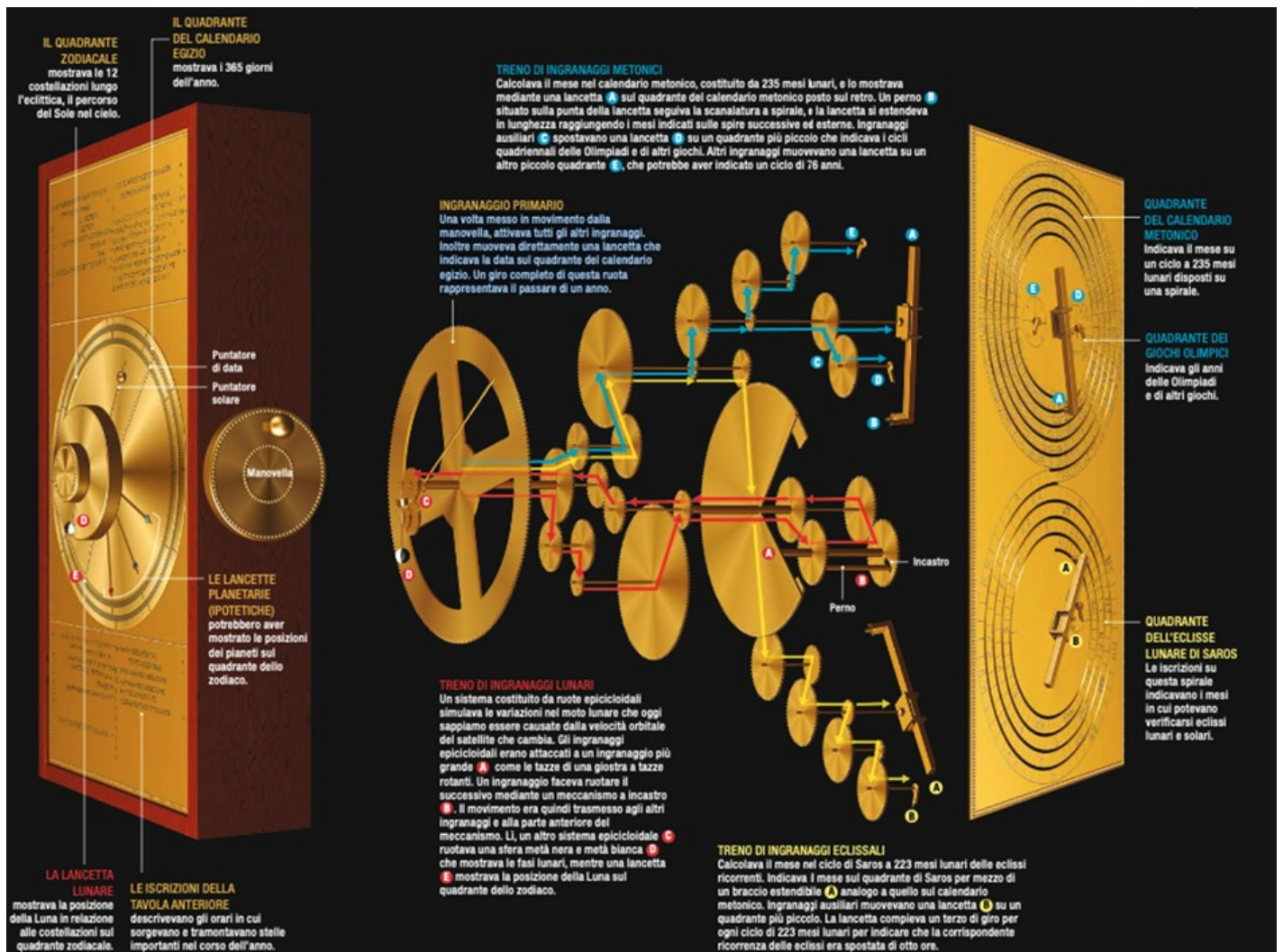


Figura 20: In questa immagine si possono ammirare i pannelli anteriore e posteriore insieme a tutti i meccanismi

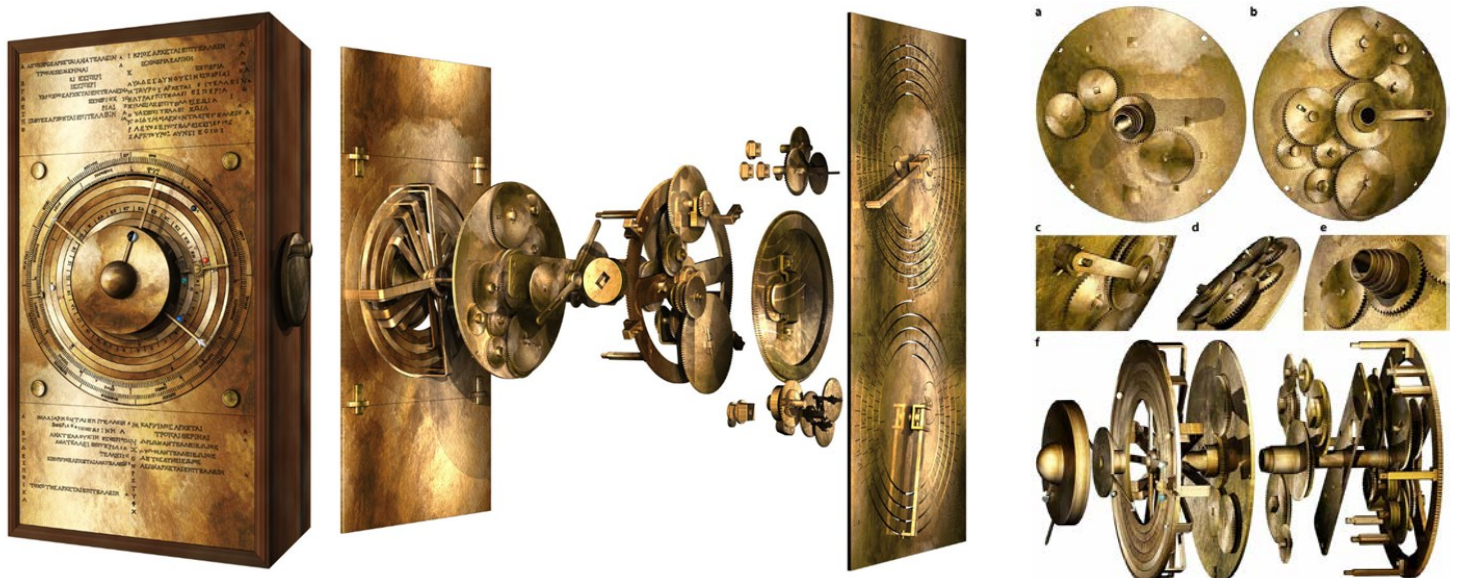


Figura 21: In quest'altra rappresentazione invece sono inseriti anche gli ingranaggi epicicloidali che rappresentano il moto dei pianeti

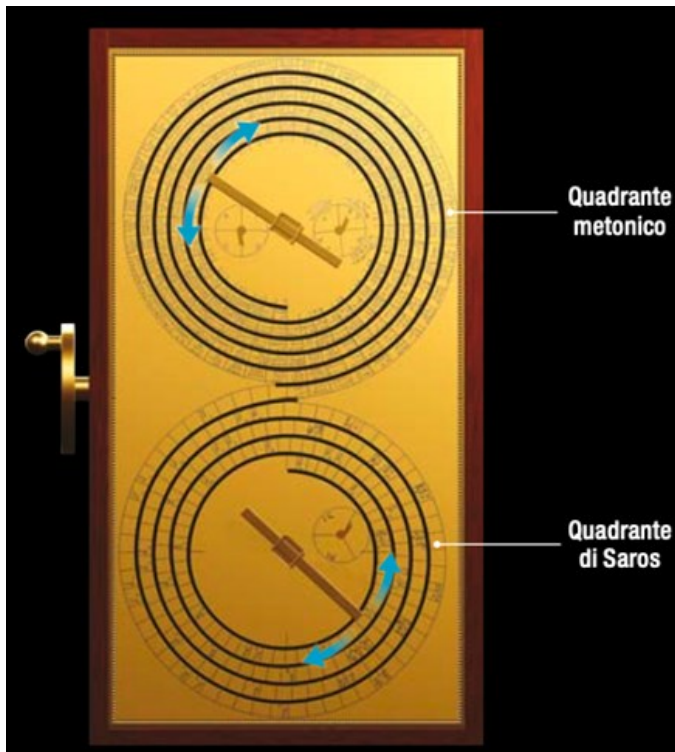
ISTRUZIONI PER L'USO

Per usare il meccanismo di Antikythera bastavano un po' di pratica e qualche rudimento di astronomia.

Dopo la calibrazione iniziale fatta da un esperto, il meccanismo poteva dare informazioni accurate su eventi distanti diverse decine d'anni sia nel passato sia nel futuro. Le iscrizioni sul quadrante di Saros, a intervalli di cinque o sei mesi, corrispondevano ai mesi in cui la Terra, il Sole e la Luna sono quasi allineati (e quindi rappresentando tutte le potenziali eclissi solari e lunari) in un ciclo di 223 mesi lunari. Una volta noto il mese dell'eclissi, se ne poteva calcolare il giorno sul quadrante anteriore sfruttando il fatto che le eclissi solari avvengono sempre con il novilunio e quelle lunari col plenilunio.

Passo 1: azzerare la data

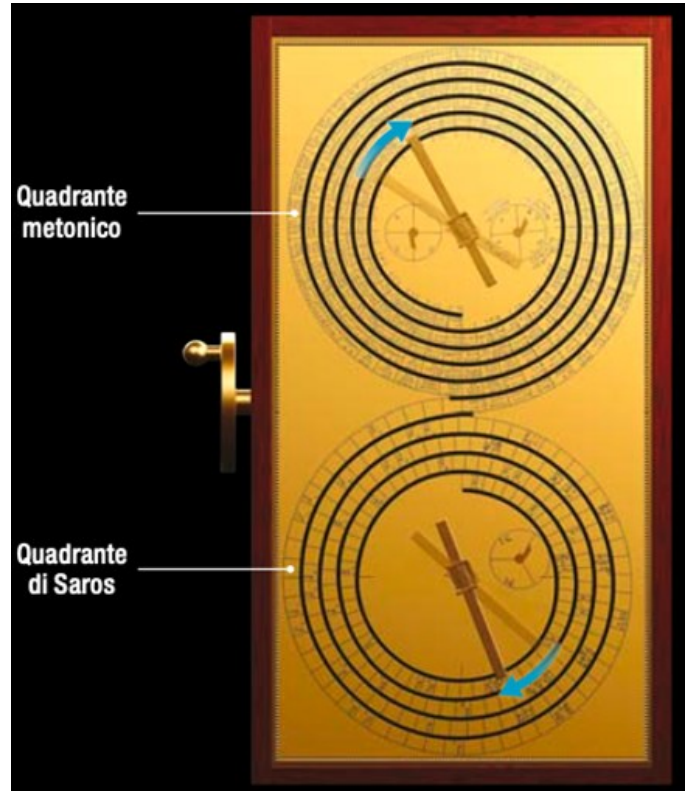
Si comincia girando la manovella per impostare mese e anno corrente sul calendario metonico. la lancetta inferiore si dirigerà verso il mese corrispondente sul quadrante di Saros (ovvero quello delle eclissi).



Passo 2: trovare il mese dell'eclissi

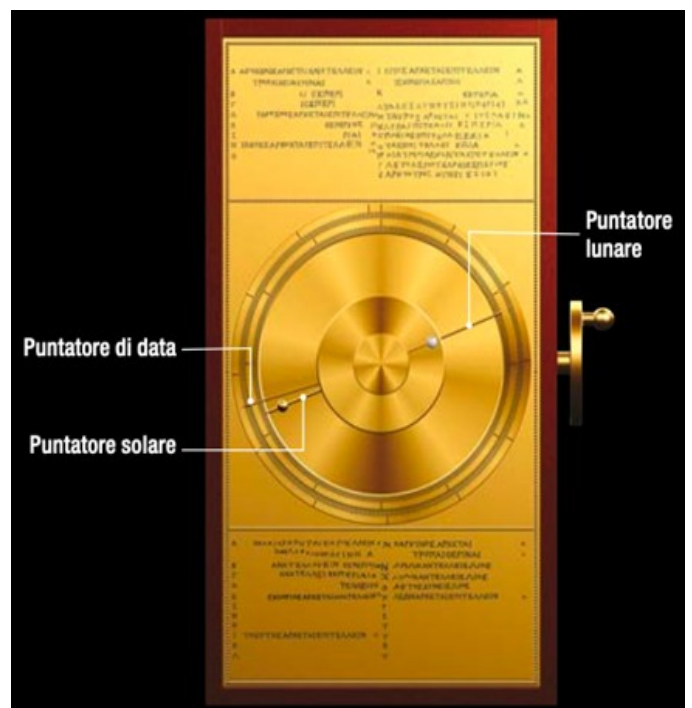
Girare la manovella per spostare il tempo in avanti finché la lancetta sul quadrante di Saros indica un'iscrizione di eclissi. l'iscrizione indicherà quindi mese e ora del giorno (ma non il giorno) di un'eclissi, spe-

cificando se sarà solare o lunare.



Passo 3: calcolare il giorno

Regolare la manovella finché i puntatori lunare e solare sono allineati (per un'eclissi solare) o a 180 gradi (per un'eclissi lunare). la lancetta del calendario egizio si sposterà di conseguenza, indicando il giorno dell'eclissi.



CONSIDERAZIONI STORICHE

La complessità e l'unicità del Meccanismo di Antikythera ridefiniscono drasticamente la nostra comprensione delle capacità degli antichi Greci, proiettando una luce inaspettata sulla loro ingegneria, astronomia e filosofia.

- **Ingegneria e tecnologia avanzatissima**: prima della sua scoperta, non si conoscevano esempi sopravvissuti di ingranaggi o scale di misurazione di precisione dall'antichità. Il meccanismo ha rivelato che la tecnologia degli ingranaggi meccanici, pietra angolare dello sviluppo degli orologi moderni e della Rivoluzione Industriale, aveva le sue radici nell'antica Grecia. La sua progettazione e costruzione richiedevano competenze ingegneristiche eccellenti. La capacità di realizzare meccanismi così complessi, come il sistema a perno e fessura per la Luna o il doppio uso del piatto girevole di 223 denti, è una testimonianza di una sofisticazione tecnica che supera di gran lunga le aspettative precedentemente stabilite per l'epoca.
- **Sofisticata modellazione astronomica e previsione**: Il meccanismo dimostra una conoscenza astronomica di altissimo livello. Non si trattava solo di osservare il cielo, ma di costruire un modello fisico predittivo.
- **Cicli calendariali**: la replica del ciclo metonico di 19 anni per armonizzare i moti di Sole e Luna era fondamentale per la gestione del tempo e delle festività.
- **Movimenti planetari**: La capacità di rappresentare i moti irregolari dei cinque pianeti allora conosciuti (Mercurio, Venere, Marte, Giove, Saturno) utilizzando il modello degli epicicli indica una profonda comprensione delle teorie astronomiche.
- **Previsione delle eclissi**: L'uso del ciclo di Saros (223 mesi) per prevedere le eclissi solari e lunari è un'impresa matematica e meccanica notevole.
- **Precisione lunare**: la rappresentazione della variazione della velocità della Luna e, in modo ancora più impressionante, la precessione

dell'asse dell'orbita lunare ogni nove anni, rappresentano un livello di precisione e sofisticazione concettuale "incredibilmente sbalorditivo" per l'epoca.

- **Radici della scienza e della filosofia moderna**: Il meccanismo ha rivelato che i Greci stavano percorrendo una strada simile a quella che sarebbe stata intrapresa secoli dopo da inventori come John Harrison, che utilizzò ingranaggi e ruote per una misurazione accurata del tempo. Ma il suo impatto va oltre la mera tecnologia.
- **Ispirazione per le teorie matematiche**: ha sollevato la possibilità che le macchine stesse potessero aver ispirato le teorie matematiche, come quella degli epicicli, piuttosto che il contrario. Questo suggerisce un'interazione dinamica tra pratica e teoria che potrebbe aver alimentato il progresso scientifico.
- **Il Cosmo come macchina**: Il meccanismo di Antikythera ha contribuito a forgiare l'idea generale del cosmo come una macchina, un meccanismo fisico con un ordine sottostante che opera secondo regole misurabili, comprensibili e prevedibili, piuttosto che per capriccio degli dei. Questa visione è considerata il motore della scienza e della nostra moderna visione del mondo.
- **Credibilità delle fonti antiche**: le descrizioni di dispositivi simili da parte di Cicerone, come quelli di Posidonio e Archimede, che in precedenza erano state considerate potenzialmente fittizie a causa della mancanza di prove tecniche, sono ora viste come basate su una realtà tangibile grazie al meccanismo di Antikythera. Questo ha riabilitato la credibilità di importanti fonti storiche sull'ingegno greco.

INDAGINI SUL LUOGO DI ORIGINE

Sebbene l'identità del meccanismo sia stata decifrata, rimangono domande sulla sua provenienza e sul suo creatore. L'analisi degli oggetti ritrovati nel relitto suggerisce che la nave proveniva dall'Oriente e si dirigeva a Ovest, affondando tra il 70 e il 60 a.C.

Dettagli sul meccanismo stesso forniscono indizi. Cicerone, nel I secolo a.C., descrisse strumenti si-

mili creati da Posidonio a Rodi e da Archimede. Posidonio, un filosofo che lavorava a Rodi, è un forte candidato, avendo avuto accesso a laboratori tecnici all'avanguardia. Inoltre, la teoria di Ipparco sulla variazione della velocità della Luna, modellata nel meccanismo, potrebbe essere stata influenzata dal lavoro di Posidonio.

La presenza di giochi locali di Rodi, gli "**Halieia**", tra quelli menzionati sul quadrante dei giochi atletici, è un ulteriore forte indizio di una provenienza da Rodi, come un'etichetta "*Made in Rhodes*".

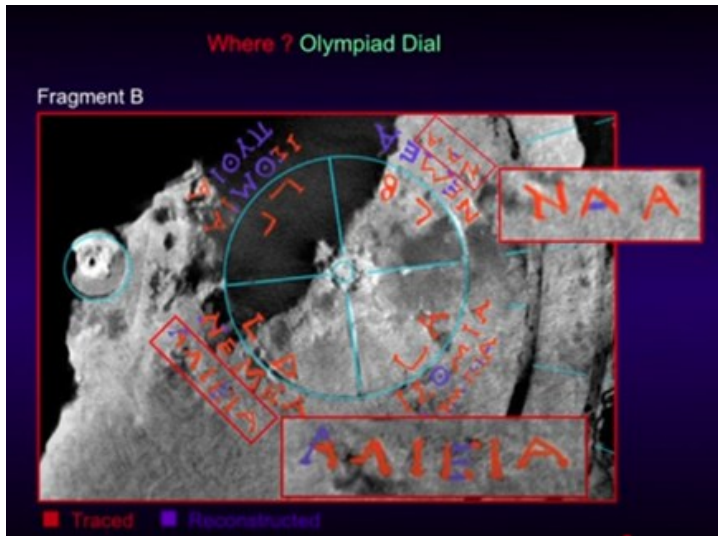


Figura 22: Particolare del frammento con il quadrante dei giochi, dove si legge in basso a sinistra "Alieia" (ingrandito in basso a destra)

Tuttavia, i nomi dei mesi sul quadrante a spirale posteriore provengono da un calendario usato nella Grecia nord-occidentale. Ciò ha portato alla conclusione che il dispositivo fu probabilmente realizzato a Rodi, forse nel laboratorio di Posidonio, ma personalizzato su ordinazione per un cliente nella Grecia nord-occidentale e spedito a lui quando la nave affondò.

Nonostante la sua complessità, il Meccanismo di Antikythera non può essere stato l'unico o il primo del suo genere; la sua sofisticazione suggerisce che ci devono essere stati dispositivi più semplici sviluppati nel tempo.

Archimede, vissuto un paio di secoli prima, è un buon candidato per aver inventato per primo questa linea di modelli del cosmo. Conosciamo un suo lavoro perduto intitolato "Sulla fabbricazione delle sfe-

re", e Cicerone menziona un modello astronomico da lui inventato. È possibile che Archimede abbia ideato l'idea di utilizzare un sistema di ingranaggi meccanici per modellare i moti celesti, un'idea che poi si è evoluta incorporando teorie astronomiche successive.



Figura 23: Ipotesi sul luogo di origine e del viaggio

PER COSA ERA USATO?

Per quanto riguarda il suo scopo, gli specialisti ritengono che fosse difficile pensare a uno scopo pratico per il dispositivo. Non avrebbe fornito informazioni per la navigazione che non fossero più facilmente ottenibili in altri modi, né la previsione degli oroscopi. Le iscrizioni, descritte come una "didascalia estesa" piuttosto che istruzioni operative, suggeriscono che fosse un dispositivo didattico, uno strumento per spiegare e dimostrare a un pubblico colto ma non specialista il funzionamento dei cieli. Era più di una macchina; era un "modello dell'universo", un "cielo portatile", una "compendio di tutto ciò che è, uno specchio della natura".

L'ENIGMA DELLA "SCOMPARSITA"

Dopo il I secolo a.C., le descrizioni di dispositivi simili svaniscono dai documenti storici, suggerendo che questa tradizione tecnologica non sia sopravvissuta al crollo dell'Impero Romano.

Tuttavia, indizi più recenti suggeriscono che almeno alcuni aspetti di questa tecnologia siano sopravvissuti. Un orologio solare bizantino del VI secolo d.C. con ingranaggi al suo interno, pur essendo molto più semplice, dimostra che l'idea di utilizzare gli ingranaggi per modellare i cieli persisteva. Secoli do-

po, manoscritti arabi del X secolo descrivono un "scatola per la luna" con otto ingranaggi, e astrolabi islamici del XIII secolo ne sono un esempio fisico, mostrando la posizione del Sole e della Luna, la fase lunare e il giorno del mese.

Gli storici ritengono che questa tecnologia sia poi tornata dal mondo islamico in Europa, dove ha contribuito a innescare l'invenzione degli orologi meccanici. È un enigma che i primi orologi meccanici comparsi in Europa nel XII secolo non fossero semplici, ma grandi e complessi pezzi da esposizione astronomica con strati di ingranaggi epiciclici, che mostravano Sole, Luna, pianeti ed eclissi; l'indicazione dell'ora era quasi un ripensamento. Sembra che la tecnologia per i modelli celesti con ingranaggi fosse "in attesa" e, con l'invenzione dello scappamento (il meccanismo che regola la velocità costante di un peso in caduta) si sia verificata un'esplosione di questi orologi astronomici. Ciò indica che non si trattava di una tecnologia persa, ma che è sopravvissuta e che c'è un collegamento diretto tra gli antichi ingranaggi di 2.000 anni fa fino agli orologi che indossiamo al polso oggi.

QUANDO FU CREATO?

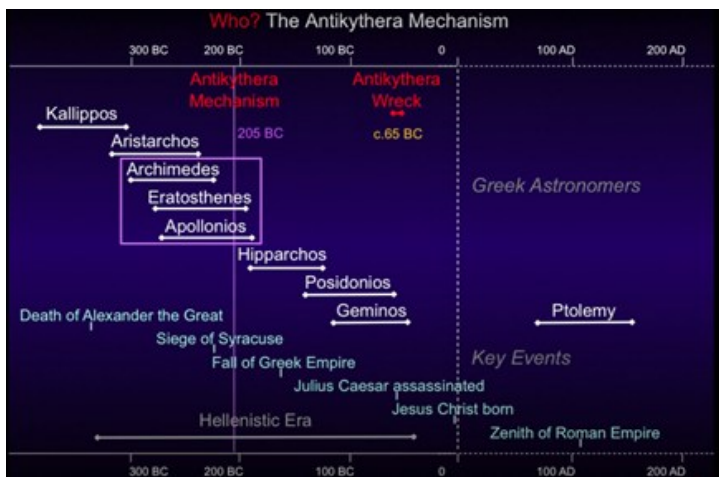


Figura 24: il momento storico in cui è probabilmente stata costruita la macchina rispetto alle vite di famosi scienziati, personaggi storici e filosofi del tempo

La data esatta di creazione del Meccanismo di Antikythera è stata oggetto di ricerca e dibattito, ma le indagini più recenti suggeriscono una data sorprendentemente precoce.

Inizialmente, l'archeologia ha fornito un "terminus

ante quem", ovvero la data più recente possibile per la creazione del meccanismo, stimando il naufragio intorno al 65 a.C.

Le analisi epigrafiche delle iscrizioni presenti sul meccanismo hanno offerto ulteriori indizi. Mentre epigrafisti come Merritt, che lavorò con Price, suggerirono nel 1974 il I secolo a.C. (Price stesso propose l'80 a.C.), ricerche più recenti condotte da Kritzias e Crowther con il team di Tony Freeth hanno spostato la data ancora più indietro.

Un *terminus post quem*, la data più antica possibile, è stato stabilito dal Ciclo Callippico, uno dei cicli astronomici identificati da Albert Rehm nel meccanismo.

Poiché il Ciclo Callippico fu iniziato nel 330 a.C., il meccanismo non può essere stato creato prima di tale data.

La teoria lunare epiciclica, modellata dal meccanismo, è stata attribuita da Tolomeo a Ipparco nel II secolo d.C., ma è plausibile che Apollonio di Perga o i suoi contemporanei l'avessero sviluppata in un periodo precedente, il che si allineerebbe con una datazione più antica.

Il progresso più significativo nella datazione è arrivato da lavori recenti di Christian Carman e James Evans, che, basandosi su complessi calcoli babilonesi di previsione delle eclissi, hanno determinato che la luna piena del primo mese del quadrante si riferisce al 12 maggio 205 a.C.

In modo straordinario, Tony Freeth, utilizzando un modello matematico indipendente dei tempi delle eclissi, è giunto alla stessa identica data: 12 maggio 205 a.C.. Sebbene Freeth riconosca la necessità di ulteriori lavori per ottenere un consenso accademico completo, crede fermamente che questa data sia corretta e la considera "molto interessante".

Questa data, ben più antica delle stime precedenti (che oscillavano tra il 150 a.C. ed il consenso generale del 100 a.C.), si allinea con le prove archeologiche, l'epigrafia di Charles Crowther e la possibile invenzione della teoria lunare epiciclica da parte di Apollonio o dei suoi contemporanei.

Tale cronologia posiziona la creazione del meccanismo solo sette anni dopo la morte di Archimede nel

212 a.C., rendendo plausibile l'idea che egli possa aver avviato la tradizione di realizzare dispositivi così avanzati, come suggerito anche dalle descrizioni di Cicerone.

CONSIDERAZIONI FINALI

Il Meccanismo di Antikythera, con la sua complessità mozzafiato e la sua unicità, ha profondamente trasformato la nostra comprensione delle capacità scientifiche e ingegneristiche degli antichi Greci. Rivelando una cultura che non solo possedeva una conoscenza astronomica profonda, ma era anche in grado di tradurre queste teorie in un dispositivo meccanico di straordinaria precisione e bellezza, ha dimostrato che i fondamenti della nostra tecnologia moderna non sono nati dal nulla, ma hanno radici profonde nell'ingegno dell'antichità classica.

Questo oggetto non è solo una meraviglia archeologica, ma una testimonianza del potere della mente umana di concepire, misurare e rappresentare il proprio universo. Ha rafforzato l'idea del cosmo come una macchina, un ordine misurabile e prevedibile che ha gettato le basi per la scienza moderna e la nostra visione del mondo. La sua storia di scoperta, decifrazione e riconsiderazione continua a ispirare e a farci riflettere su ciò che potremmo ancora non aver compreso del passato e su come queste scoperte possano illuminare il nostro percorso futuro.

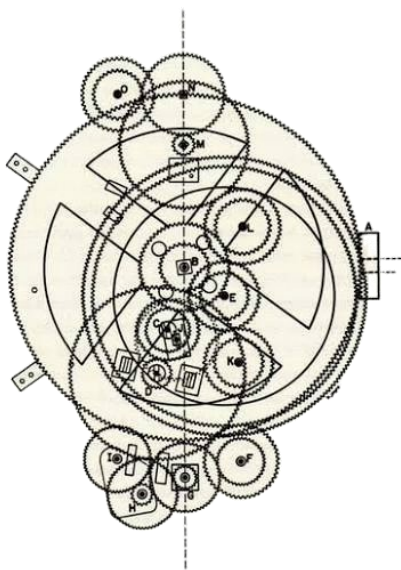


Figura 25: Schema meccanico che rappresenta la complessa disposizione degli ingranaggi interni del Meccanismo di Antikythera

LINK WEB (PER APRIRE: CTRL+CLICK)

- Jo Marchant all'Università di Cambridge:
[*Decoding the Heavens: The Antikythera Mechanism by Jo Marchant*](#)
- Animazione 3D del meccanismo by Mogi e Vicentini:
[*Virtual Model of the Antikythera Mechanism by Michael Wright and Mogi Vicentini*](#)
[*Virtual Reconstruction of the Antikythera Mechanism \(by M. Wright & M. Vicentini\)*](#)
- Tony Freeth alla Stanford University:
[*The Antikythera Mechanism: A Shocking Discovery from Ancient Greece*](#)
- Freeth, T. - Le Scienze, Numero 498, febbraio 2010, pp 48-55 - febbraio 2010 - *Decifrare un antico calcolatore.*
- Scientific American - Tony Freeth article - 1 jan 2022:
[*An Ancient Greek Astronomical Calculation Machine Reveals New Secrets*](#)
- Articolo di Paolo Attivissimo:
[*La macchina di Anticitera: è come trovare un jet sepolto in una piramid*](#)
- Link all'articolo di Nature del 12 marzo 2021 dove si dice che il frammento D potrebbe essere l'ingranaggio epiciclico per Venere:
[*A Model of the Cosmos in the ancient Greek Antikythera Mechanism*](#)
- Articolo con una ricerca del 2021 che racconta le ipotesi sugli ingranaggi epicicloidali per i pianeti. con anche un documentario di mezz'ora embedded (con al minuto 13 la visualizzazione delle traiettorie epicicliche dei pianeti se la terra fosse al centro):
[*Experts recreate a mechanical Cosmos for the world's first computer*](#)

- Un articolo del 14 gennaio 2020 che ipotizza come un ingranaggio dalla funzione fino ad ora sconosciuta (frammento D) potrebbe servire a prevedere con maggiore precisione le eclissi. Ma secondo il documentario di techxplore potrebbe far parte dell'ingranaggio di Venere (min. 22 e 20s):
[*The Draconic gearing of the Antikythera Mechanism Assembling the Fragment D on the Antikythera Mechanism: Its role and operation*](#)
- Set di video che ricostruisce il meccanismo di Antikythera artigianalmente:
[*Building The World's First Computer: The Antikythera Mechanism*](#)
- Short video che fa vedere i meccanismi planetari dei pianeti:
[*Geocentric Planetarium in the Antikythera Mechanism \(model Freeth / Jones, 2012\)*](#)
- Video completo che mostra i meccanismi planetari dei pianeti secondo le varie ricostruzioni (la versione lunga del video short qui sopra):
[*Geocentric Planetarium in the Antikythera Mechanism - Evidence and Reconstruction*](#)
- Altro video dove costruisce il meccanismo con i planetari ed alcuni ammodernamenti agli ingranaggi:
[*Antikythera Mechanism V2: A Modernized Reproduction*](#)
- Documentario del 2016 dove riproducono il meccanismo con ingranaggi grigi e più grandi:
[*Star Clock BC : The Antikythera Mechanism*](#)



Atene - 112 d.C. ... Se, come ipotizzava Arthur C. Clarke, gli antichi Greci avessero compreso le potenzialità della tecnologia

SIAMO PIÙ EVOLUTI DEI DINOSAURI?

Come il tempo di preavviso e la composizione degli asteroidi determinano le strategie di difesa planetaria

di Luigi Borghi



1. INTRODUZIONE

Il titolo è volutamente provocatorio.

È indubbio che i dinosauri abbiano popolato la Terra per decine di milioni di anni, estinguendosi a causa di eventi esterni come l'impatto dell'asteroide avvenuto circa sessanta milioni di anni fa in Messico. Al contrario, la specie umana potrebbe non riuscire a garantire una simile longevità a causa della potenziale autoestinzione legata al progresso tecnologico. Tuttavia, proprio la tecnologia potrebbe offrirci gli strumenti necessari per difenderci da futuri eventi catastrofici analoghi, come l'impatto di un nuovo asteroide. Questo rappresenta una possibilità concreta per la nostra sopravvivenza.

Dopo aver analizzato il potenziale degli asteroidi come risorsa mineraria nelle conferenze che abbiamo tenuto e negli articoli che abbiamo scritto a proposito della Space Economy, è utile volgere lo sguardo a un tema altrettanto cruciale: la difesa planetaria. Se un corpo celeste di grandi dimensioni si trovasse su una traiettoria di collisione con la Terra, saremmo in grado di deviarlo? Negli ultimi anni la ricerca spaziale ha compiuto progressi significativi, passando dalla semplice osservazione dei cosiddetti NEO (Near-Earth Objects) alla sperimentazione di strategie concrete per modificarne l'orbita. Le missioni dimostrative, come DART della NASA, hanno aperto una nuova fase: quella in cui la protezione del pianeta diventa una possibilità tecnologica

reale.



Figura 1: I dinosauri alle prese con il lancio di un missile nucleare

Non sono casi rari ma abbastanza frequenti.

Un esempio recente? Il 1° ottobre 2025, un piccolo asteroide, identificato come C15KM95 (noto anche come 2025 TF) ha sorvolato la Terra a soli 300 km sopra l'Antartide, più vicino della Stazione Spaziale Internazionale. Ciò che spaventa è il fatto che al di sotto di certe dimensioni, questi proiettili sono difficili da intercettare in anticipo. C15KM95 è stato individuato solo sei ore dopo il suo passaggio, grazie a un telescopio situato in Arizona. Fortunatamente, con un diametro inferiore ai 2 metri, C15KM95 non avrebbe rappresentato alcun pericolo: entrando nell'atmosfera, si sarebbe disintegrato quasi completamente prima di raggiungere il suolo. Ma possono essere un pericolo per le nostre infra-

strutture spaziali anche impatti violenti sulla Luna.

Alla fine del 2024 è stato scoperto l'asteroide 2024 YR4, un oggetto di circa 60 metri di diametro appartenente alla categoria dei Near-Earth Objects (NEO). Le prime stime gli attribuivano una probabilità di impatto con la Terra attorno al 3%, poi rapidamente esclusa grazie a nuove osservazioni. Rimane invece una probabilità residua, stimata al 4%, che **nel dicembre 2032 l'asteroide possa colpire con la superficie lunare**.

Un evento di questo tipo non avrebbe conseguenze dirette sulla Terra, ma potrebbe influenzare l'ambiente spaziale attorno al nostro pianeta. L'impatto, infatti, solleverebbe grandi quantità di detriti dal suolo lunare che, almeno in parte, potrebbero raggiungere l'orbita terrestre, aumentando temporaneamente il flusso di micrometeoroidi e ponendo rischi per satelliti e infrastrutture spaziali.

Finora non risulta che esista una (o più) iniziativa già "attiva" e confermata con l'obiettivo specifico di deviare **2024 YR4** per evitare una collisione con la Luna. Le proposte sono ancora allo stadio teorico o di pianificazione. Tuttavia gli studi e le proposte sono abbastanza ben articolati, e delineano possibili strategie di difesa planetaria che potremmo sviluppare se la probabilità di impatto dovesse aumentare. Ecco un riepilogo delle idee, delle sfide e delle opzioni attualmente esplorate:

2. CLASSIFICAZIONE E CENSIMENTO

Secondo i dati più recenti del **Minor Planet Center** e della **NASA/JPL**, si conoscono **circa 20.000 asteroidi della classe Apollo (Apollo asteroids)**. La cifra esatta cambia continuamente, perché se ne scoprono di nuovi quasi ogni settimana), rendendola il gruppo più numeroso di oggetti **near-Earth**. Di questi, **1.742** sono numerati (ossia, osservati in almeno due opposizioni) e 2.130 sono identificati come potenzialmente pericolosi (PHA, **Potentially Hazardous Asteroid**).

Un asteroide è considerato PHA se:

- si avvicina a meno di **0,05 UA (circa 7,5 milioni di km)** dalla Terra;

- ha un **diametro superiore a 140 metri** (abbastanza da causare gravi danni in caso di impatto).

Appartengono alla **Classe Apollo** gli asteroidi che rientrano in queste specifiche:

- Hanno un **semiasse maggiore superiore ad 1 unità astronomica (UA = 150 milioni di km)**, quindi la loro orbita si estende oltre quella terrestre;
- hanno un **perielio minore di 1,017 UA**, cioè, passano molto vicino all'orbita terrestre.

Vediamo come sono catalogati e quali sono le caratteristiche dei più noti *Near-Earth Asteroids*:

Classe Apollo, l'orbita attraversa quella terrestre, da oltre 1 UA, a meno di 1,017 UA. Il più noto è (99942) Apophis.

Classe Aten, l'orbita che attraversa quella terrestre, ma resta più interna per la maggior parte del tempo. Il più noto è (2062) Aten.

Classe Amor, l'orbita esterna, si avvicina ma non interseca quella terrestre, da 1,3 UA a 1,017 UA. Il più noto è (1221) Amor.

Classe Atira (o **Apohele**), l'orbita è completamente interna a quella terrestre, sempre sotto 0,983 UA. Il più noto è (163693) Atira.

Vediamo ora nel dettaglio le caratteristiche fisiche di alcuni asteroidi Apollo potenzialmente pericolosi:

(99942) Apophis

- **Diametro:** ~340 m
- **Scoperta:** 2004
- **Minimo avvicinamento previsto:** 13 aprile 2029, a soli **31.000 km dalla Terra** (più vicino di molti satelliti geostazionari).
- **Rischio:** inizialmente stimato alto, oggi escluso l'impatto almeno fino al 2100.
- **Curiosità:** sarà visibile a occhio nudo durante il passaggio del 2029!
- **Soggetto di attenzione** da parte di un accordo

internazionale tra ESA, Corea del sud e Giappone. L'ESA ha confermato la collaborazione con la JAXA nella missione Ramses, che partirà insieme alla sonda nipponica Destiny+ a bordo di un razzo H3. L'obiettivo: analizzare l'asteroide Apophis. La missione dovrà comunque **ottenere il via libera finale al finanziamento del progetto dai suoi Stati membri**, ma i lavori di sviluppo della sonda sono già in corso.

(1862) Apollo

- **Diametro:** ~1,5 km
- **Scoperta:** 1932 da Karl Reinmuth (è il "prototipo" della categoria).
- **Orbita:** interseca quella terrestre con periodo di 1,79 anni.
- **Importanza:** ha dato il nome all'intera classe di asteroidi Apollo.

(4179) Toutatis

- **Diametro:** ~2,7 × 1,2 km
- **Avvicinamento minimo:** 0,01 UA (circa 1,5 milioni di km nel 2004)
- **Orbita:** molto caotica, influenzata da Giove e Venere.
- **Curiosità:** sorvolato dalla sonda cinese **Chang'e 2** nel 2012.

(3200) Phaethon

- **Diametro:** ~5,8 km
- **Particolarità:** è la **sorgente della pioggia meteorica delle Geminidi**.
- **Orbita:** molto ellittica (si avvicina al Sole fino a 0,14 UA).
- **Classificazione:** asteroide Apollo, ma con caratteristiche "cometarie".

(101955) Bennu

- **Diametro:** ~490 m
- **Famoso per:** essere stato il bersaglio della missione **OSIRIS-REx** della NASA, che ha riportato campioni sulla Terra nel 2023.

- **Rischio:** leggermente superiore alla media per impatti futuri (possibile impatto nel 2182, probabilità 1 su 2.700).
- **Tipo:** Apollo.

(2101) Adonis

- **Diametro:** ~0,6 km
- **Scoperta:** 1936
- **Orbita:** molto eccentrica, passa vicino a Venere e alla Terra.
- **Curiosità:** uno dei primi Apollo osservati e poi "ritrovato" nel 1977 dopo 40 anni.

3. COME DIFENDERCI

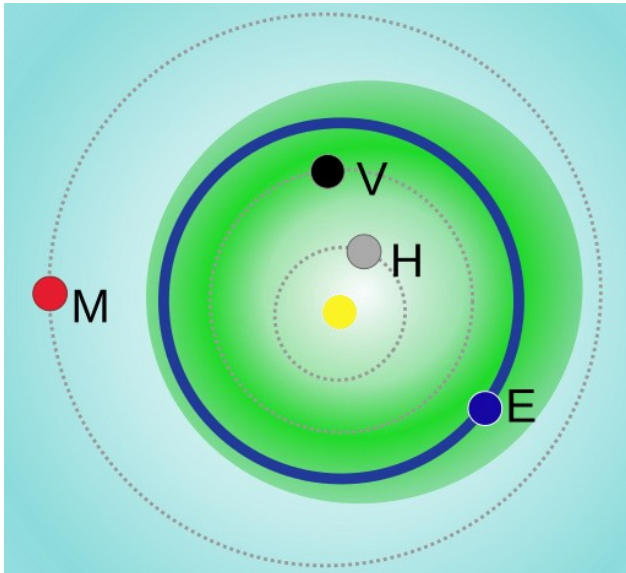


Figura 2.1: La distribuzione degli asteroidi Apollo (fascia verde) in relazione alle orbite dei pianeti terrestri del sistema solare: Marte (M), Terra (E), Venere (V), Mercurio (H)

Per impedire che un asteroide colpisca la Terra, gli scienziati hanno proposto diverse strategie:

I. Mass Driver (Snively e O'Neill, 1983)

Utilizza lo scambio di quantità di moto per deviare l'asteroide rilasciando il materiale dall'asteroide ad alta velocità. Un generatore nucleare (piazato sull'asteroide) dovrebbe alimentare uno scavatore-espulsore che proietti il materiale all'esterno ad una velocità sufficiente ad uscire dal campo gravitazionale dell'asteroide (abbastanza bassa, da pochi me-

tri a decine di metri al secondo).

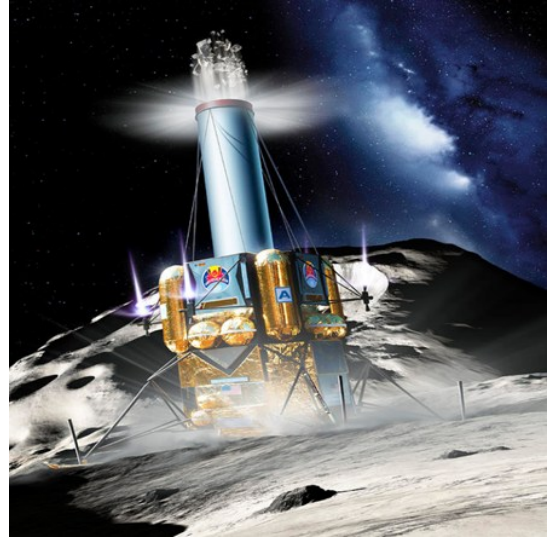


Figura 3.1: Mass Driver

II. Ablazione laser (Campbell et al., 2003)

Utilizza un laser ad alta intensità sull'asteroide per vaporizzare o espellere il materiale dell'asteroide. Quello espulso darebbe una spinta all'asteroide, spingendolo nella direzione opposta. Una tecnica che sarebbe molto più efficace con il [trasmettitore laser](#) posto sulla Luna, senza atmosfera, o in orbita terrestre.

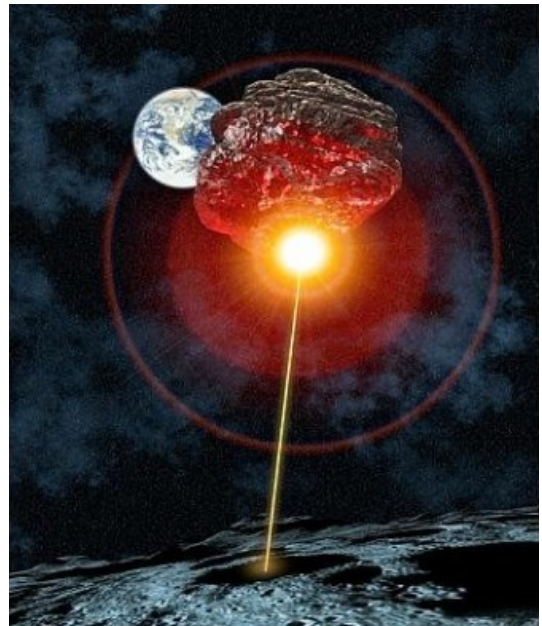


Figura 3.2: Ablazione laser

III. Effetto Yarkovsky (Spitale, 2002).

Modifica l'albedo superficiale di un piccolo asteroide. La forza dei fotoni irradiati sull'asteroide può essere modificata, modificando così l'orbita dell'asteroide.

Per modificare l'albedo di un asteroide e sfruttare l'[Effetto Yarkovsky](#), si dovrebbe alterare la riflettività della sua superficie, ad esempio imbrattandolo con vernice bianca o particolato scuro, per favorire un ri-irraggiamento termico asimmetrico che, nel tempo (tanto tempo), ne modifichi l'orbita.

Per applicare questa tecnica, occorrerebbe una missione spaziale in grado di decollare e raggiungere l'asteroide, molti anni prima, con un carico di materiale da depositare sulla sua superficie, manipolando così la sua interazione con il Sole.

IV. Gravity Tractor (Lu e Love, 2005).

(Figura 3.3.) Detto anche **Slow-push con ion-thruster** in cui l'attrazione gravitazionale tra una sonda spaziale di massa significativa e l'asteroide lo spingerebbe gradualmente lontano dalla sua orbita originale. La sonda, mantenendo la posizione con i suoi motori vicino all'asteroide per mesi o anni, può alterarne lentamente l'orbita senza toccarlo fisicamente. È una soluzione lenta, ma utile se la minaccia è rilevata con largo anticipo. È **indipendente dalla composizione dell'asteroide**. Ottimo per precisione ma richiede tanto tempo. ([Planetary Society](#)).

Il metodo del trattore gravitazionale offre il [massimo controllo](#), consentendoci di indirizzare con precisione un asteroide lontano dalla Terra. Lo svantaggio è che questa tecnica potrebbe non funzionare su asteroidi con diametro superiore a 500 metri.



Figura 3.3: Gravity Tractor

V. Fascio ionico (Thiry e Vasile, 2017).

Si riferisce all'uso di un propulsore ionico che irradia

continuamente l'asteroide bersaglio, generando una forza sostenuta sull'asteroide. La forza ne modifica l'orbita.

L'idea è quella di puntare il getto del propulsore a ioni di una navicella verso l'asteroide. Gli ioni accelerati lo colpirebbero, imprimendogli una leggera spinta. Potrebbero volerci mesi o anni prima che questo metodo riesca a deviare un asteroide dalla rotta terrestre, quindi sarebbe necessario un ampio preavviso.

La navicella avrebbe anche bisogno di un sistema di propulsione secondario per attivarsi nella direzione opposta, poiché il motore a ioni spingerebbe la navicella lontano dall'asteroide quindi ne servirebbe un altro che la manterrebbe in prossimità. Tanto tempo e tanto carburante.

[Uno studio](#) che studia il concetto afferma che la tecnica del fascio ionico è più efficiente di un trattore gravitazionale per asteroidi di larghezza inferiore a 2 chilometri.

VI. Esplosione nucleare (Anthony e Emami, 2018).

Si tratta di far esplodere direttamente l'asteroide utilizzando armi nucleari. Opzione estrema e controversa. Far detonare una carica nucleare vicino alla superficie dell'asteroide (o penetrandola) per spostarlo grazie all'energia rilasciata. È una strategia più rischiosa e politicamente delicata, soggetta a trattati internazionali, ma può essere l'ultima risorsa in caso di preavviso molto breve.

([The Guardian](#), [NASA Technical Reports Server](#))

È uno dei metodi più efficienti e affidabili per deviare un asteroide vicino alla Terra. Può essere usato come deflessione (ablazione della superficie che produce ejecta-reazione) o, in casi estremi provocare la frammentazione (pericolosa). Studi recenti continuano a valutarne efficacia e limiti. La frammentazione intenzionale, cioè, spezzare l'asteroide con l'esplosione in tanti pezzi, può sembrare una soluzione ma può anche peggiorare le cose (molti frammenti radioattivi e ancora massicci possono comunque cadere sulla Terra). Di solito non è preferibile salvo casi molto particolari.

Gli scienziati, così come i produttori cinematografici

di Hollywood, hanno a lungo considerato le bombe nucleari come una promettente forma di difesa nel caso in cui un enorme asteroide apparisse senza preavviso in rotta di collisione con la Terra.

Ora, i ricercatori di una struttura del governo statunitense hanno concretizzato l'idea, dimostrando come un'esplosione del genere potrebbe salvare il mondo nella prima dimostrazione completa di difesa planetaria assistita da energia nucleare.

I fisici dei Sandia National Laboratories ([The Guardian](#), [NASA Technical Reports Server](#)), la cui missione principale è garantire la sicurezza dell'arsenale nucleare statunitense, hanno registrato con una precisione al nanosecondo come un immenso impulso di radiazioni scatenato da un'esplosione nucleare potrebbe vaporizzare il lato di un asteroide vicino. L'evento sarebbe così violento da riscaldare la superficie fino a decine di migliaia di gradi, producendo una sfera di gas in rapida espansione in grado di deviare l'asteroide dalla sua traiettoria. Se si fanno i calcoli correttamente, e se la composizione dell'asteroide fosse abbastanza solida, l'enorme esplosione potrebbe essere sufficiente a sospendere l'apocalisse

VII. Impatto cinetico.

Prevede di lanciare un proiettile massiccio per colpire direttamente un asteroide e modificarne l'orbita tramite forza meccanica. Se un asteroide minaccioso viene individuato con anni di anticipo, possiamo pensare di **deviare** la sua orbita attraverso la spinta dovuta all'impatto.

L'esperimento più celebre è stato [DART](#) (**Double Asteroid Redirection Test**) della NASA.

Nel 2022 una sonda-proiettile di circa 550 kg, si è schiantata contro Dimorphos, la luna dell'asteroide Didymos, ad una velocità di circa 6,6 km/s, riuscendo a modificarne leggermente la traiettoria.

È la prova che un impatto cinetico mirato può funzionare per asteroidi di taglia fino a centinaia di metri; l'impatto trasferisce momento cinetico e spesso genera **ejecta** che aumenta l'effetto netto (fattore β). ([NASA](#), [TIME](#)).

L'impatto ha modificato l'orbita di Dimorphos attorno a Didymos, accorciandone il periodo orbitale di

ben 32 minuti (da 11 ore e 55 minuti a 11 ore e 23 minuti). Questo risultato ha superato di oltre 25 volte le aspettative minime di successo.

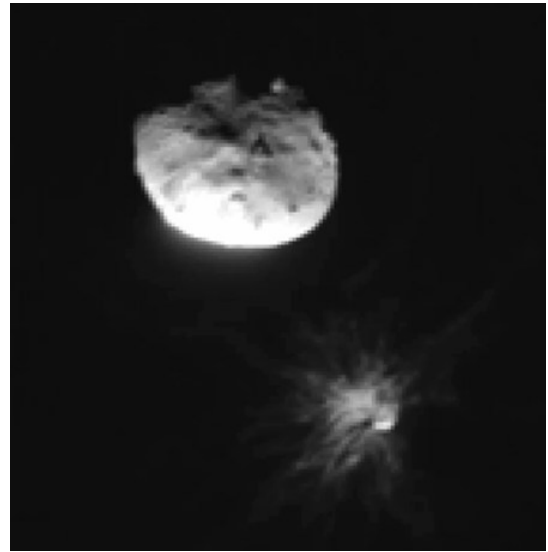


Figura 3.4

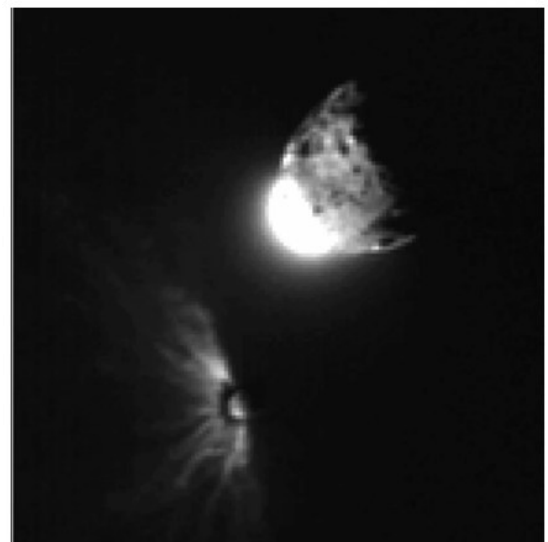


Figura 3.5

La foto di Figura 3.4. è stata scattata dalla sonda **LICIACube**, associata alla nave madre **DART** e costruita dalla torinese **Argotec**, circa 2'e 40'' dopo l'impatto, mentre il satellite sorvolava il sistema **Didymos**.

La foto di figura 3.5. è stata scattata 20'' dopo, mentre LICIACube stava lasciando la scena. Il corpo più grande, vicino alla parte superiore di ciascuna immagine, è Didymos. Il corpo più piccolo nella metà inferiore di ciascuna immagine è **Dimorphos**, avvolto dalla nube di detriti rocciosi creata dall'impatto di DART. (Crediti: NASA/ASI/Università del Maryland).

Cosa abbiamo imparato?

L'esperimento DART ha anche fornito informazioni cruciali sulla natura degli asteroidi e sulle dinamiche di un'eventuale deviazione.

- **L'effetto moltiplicatore**

Si è scoperto che il "*rinculo*" causato dai detriti espulsi dall'impatto (**ejecta**) ha avuto un ruolo fondamentale nel cambiare la traiettoria di Dimorphos, amplificando la spinta del veicolo. Questo effetto è stato più forte del previsto.

- **La natura "a cumulo di macerie"**

L'impatto ha rivelato che Dimorphos è un "cumulo di macerie", ovvero un agglomerato di rocce tenuto insieme dalla gravità, piuttosto che un corpo solido. Questo è un dato prezioso per la pianificazione di future missioni.

- **I detriti**

Un'altra scoperta interessante, anche se potenzialmente problematica, è che l'impatto ha scagliato nello spazio una "nuvola" di massi di varie dimensioni. Mentre nel caso di Dimorphos non c'è alcun pericolo per la Terra, in un futuro scenario reale questi detriti potrebbero causare problemi aggiuntivi se si dirigessero verso il nostro pianeta.

Ma non è tutto così evidente!

Uno [studio](#) recente ha messo in dubbio una delle spiegazioni più accettate per il cambiamento orbitale osservato. Dopo il famoso accorciamento di circa 32 minuti nel periodo orbitale del sistema binario *Didymos-Dimorphos*, le osservazioni hanno rilevato **un ulteriore calo di circa 30 secondi** nelle settimane successive. Questo piccolo ma significativo cambiamento ha spinto i ricercatori a cercarne la causa.

L'ipotesi principale finora era il cosiddetto *binary hardening*: l'idea che i detriti espulsi dall'impatto potessero interagire con Dimorphos e venire espulsi dal sistema, portando via momento angolare e quindi stringendo l'orbita.

Ma secondo Harrison Agrusa e Camille Chatenet, dell'Université Côte d'Azur, questa spiegazione non regge.

Attraverso simulazioni *N-body*, i due ricercatori hanno mostrato che la maggior parte del materiale tende a ricadere nel sistema, contribuendo ad allungare, non accorciare, il periodo orbitale.

Questo significa che un altro meccanismo deve essere responsabile della riduzione osservata.

Gli autori propongono una possibile alternativa: la **ristrutturazione fisica di Dimorphos** a seguito della sua rotazione alterata dall'impatto.

L'ipotesi del reshaping rotazionale.

L'idea è che l'impatto DART abbia potenzialmente alterato il tasso di rotazione interna o la distribuzione di massa di Dimorphos, innescando un processo di **ristrutturazione meccanica del suo corpo**. Se la morfologia del satellite cambia, per esempio se si assottiglia localmente o si redistribuisce materiale, questo può alterare il momento d'inerzia e generare variazioni nella dinamica orbitale che, in teoria, possono agire in senso riduttivo del periodo.

Questa spiegazione non è ancora pienamente quantificata. Servono modelli dettagliati che includano proprietà interne (resistenza delle rocce, struttura interna, rotazione) e che possano essere confrontati con i dati osservativi esistenti. Lo studio di Agrusa e Chatenet rimane al momento aperto. Non esclude che possano esserci altre ipotesi e invita la comunità scientifica ad approfondire il fenomeno con simulazioni più realistiche e nuovi dati di osservazione.

Va anche ricordato che [LICIACube](#), il cubesat italiano che ha documentato l'impatto DART e il pennacchio di detriti, ha [già fornito immagini](#) che suggeriscono una complessità maggiore negli effetti dell'impatto, andando oltre modelli semplificati.

Sicuramente, in questo giocherà un ruolo fondamentale la [missione Hera dell'ESA](#), che raggiungerà il sistema binario Didymos-Dimorphos nel 2026.

Le prossime missioni collegate a DART.

L'esperienza di DART ha aperto la strada a nuove missioni. **L'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha lanciato la missione Hera** costruita in Germania, che raggiungerà il sistema Didymos-Dimorphos nel 2026. Hera trasporta inoltre due piccoli satelliti di tipo CubeSat, chiamati *Juventas*, costruito in Dani-

marca, e *Milani* (quest'ultimo in onore dell'astronomo Andrea Milani Comparetti e costruito in Italia da **Tyvak International** con sede a Torino).

L'obiettivo di Hera e dei due cubesat è studiare da vicino il cratere creato da DART e analizzare in dettaglio la composizione e la struttura di Dimorphos, per raccogliere dati ancora più precisi che saranno fondamentali per progettare future missioni di difesa planetaria.



Figura 3.6: I cubesat della missione Hera

Quando un singolo impatto non basta (oggetto più grande o warning medio), si possono inviare [più impattatori](#) o una combinazione *impattatore* + follow-up ([ScienceDirect](#)).

VIII. Spinta diretta con un razzo sulla superficie

Concetto semplice: applicare una **spinta continua** sul corpo, verso il basso, attraverso un mezzo (**un lander munito di razzi**) fissato al suolo, finché la velocità relativa non cambia abbastanza (figura 3.7.). In teoria è perfettamente valido. Molto simile al Mass Driver ma come propellente usa lo stesso carburante combusto anziché il materiale superficiale dell'asteroide. È sostanzialmente un "slow-push" locale, ma ci sono *problemi pratici importanti*:

- **Ancoraggio e contatto:**

la microgravità e la natura della superficie (regolite soffice, sassi mobili, bassa coesione) rendono l'ancoraggio molto difficile. Esistono ricerche su dispositivi di ancoraggio (chiodi, martelli, fluidi leganti, meccanismi adattativi), ma nessuna soluzione è

"banale" per tutti i tipi di superficie. Molti concept richiedono ancoraggi complessi o tecniche non-contatto (ad es. harpoon con rischi).

- **Reazione (spinta) e massa del propulsore:**

per ottenere la Δv richiesta su un asteroide grande servono **molta energia e molto tempo**. Un motore chimico potente potrebbe staccare la sonda dalla superficie se l'ancoraggio è insufficiente; un motore a impulso basso ma prolungato (es. propulsione elettrica/ioni) è più efficiente ma richiede anni e quantità significative di propellente o energia. Studi di "*asteroid retrieval*" hanno esplorato l'idea di motori con spinta continua ma mostrano che servono sistemi robusti e molto propellente. ([Istituto Keck per gli Studi Spaziali](#))



Figura 3.7: Lander "spintore"

- **Effetto sulla struttura:**

su un *rubble-pile* (cioè, un aggregato poco coeso, poroso), spingere localmente può semplicemente riorganizzare il materiale o far fuoriuscire regolite invece di trasferire efficacemente quantità di moto all'intero corpo; su un monolite l'effetto è più trasferibile. Inoltre, **la rotazione dell'asteroide complica la direzione della spinta (potrebbe essere necessario sincronizzare o stabilizzare)**. **Nel caso della sincronizzazione, quando il razzo non spinge, se non fosse ancorato bene**

potrebbe spostarsi o addirittura staccarsi dalla superficie.

Ci sono studi e concept (ancoraggi, motori a bassa spinta, "mass drivers" che espellono materiale come reazione) che la considerano, ma nella pratica è tecnicamente sfidante — l'ancoraggio, il propellente/energia e la struttura dell'asteroide sono i colli di bottiglia. Per missioni reali spesso si preferisce (se si ha abbastanza tempo) una soluzione non-contatto come gravity tractor o impattatori multipli ([Istituto Keck per gli Studi Spaziali](#)).

Le strategie da **I** a **V** menzionate sopra richiedono un lungo tempo di preavviso a causa delle piccole forze che agiscono sull'asteroide.

4. COME CAMBIA LA STRATEGIA IN BASE ALLA COMPOSIZIONE / STRUTTURA

La consistenza dell'asteroide che ci sta piovendo addosso è fondamentale per agire in modo opportuno.

Possiamo sostanzialmente suddividerla in due categorie:

- **Monolitico (roccia solida, alta coesione):** risponde prevedibilmente a impatti cinetici; l'energia si trasmette bene e si ottiene un buon "colpo netto".
- **Rubble-pile (aggregato poco coeso, poroso):** può assorbire o disperdere l'energia; paradossalmente il DART ha mostrato che l'ejecta da un oggetto poco coeso può aumentare l'effetto di deflessione (momentum enhancement), ma la risposta è più complessa e difficile da modellare. Alcuni studi mostrano che i *rubble pile* sono "difficili da distruggere" ma possono essere efficacemente eviati se si sfrutta l'ejecta. ([PNAS](#), [ScienceDirect](#))

In pratica: prima sai com'è fatto l'asteroide (spettri, radar, missione di ricognizione), meglio scegli la tattica.

5. REGOLA D'ORO: PIÙ PREAVVISO = MENO ENERGIA RICHIESTA.

Se hai **molti anni/decenni di preavviso**, basta un

piccolo Δv (spostare l'orbita di qualche cm/s o mm/s accumulati nel tempo) per far "mancare" la Terra al momento sbagliato.

Al contrario, **con pochi mesi o giorni servono metodi molto energetici** (o nucleari). Questo è ben documentato nelle analisi NASA: per intervalli dell'ordine di un decennio l'ordine di grandezza del Δv necessario è di pochi centimetri al secondo. ([NASA Technical Reports Server](#)).

Riassunto delle opzioni a seconda del tempo a disposizione:

- **Decenni di preavviso:**

detection → slow-push (gravity tractor, ion thrusters, mass-driver), azione controllata e preferibile. ([Planetary Society](#), [Istituto Keck per gli Studi Spaziali](#))

- **Anni:**

kinetic impactor (DART-style), impatti multipli, missioni di ricognizione per misurare composizione. ([NASA](#))

- **Mesi:**

combinazioni aggressive (impianti a razzo stand-on molto potenti, impattatori multipli), molto difficile.

- **Giorni/settimane:**

Opzione nucleare (stand-off/stand-on o subsurface se possibile) o evacuazione come ultima risorsa.

6. CONCLUSIONE

Nell'introduzione abbiamo scritto che sessantasei milioni di anni fa, un gigantesco asteroide mise fine al dominio dei dinosauri in poche ore. Loro non avevano telescopi spaziali, missioni robotiche o calcoli orbitali per capire cosa stesse arrivando, né tantomeno tecnologie per cambiare il destino.

Noi invece, almeno in teoria, abbiamo tutto questo. Oggi possediamo sonde capaci di viaggiare per milioni di chilometri, sistemi di tracciamento che sorvegliano il cielo giorno e notte e perfino strategie per colpire o deviare un corpo celeste in rotta di collisione. Eppure, c'è un piccolo dettaglio che potreb-

be farci incespicare: i dinosauri non dovevano mettersi d'accordo tra loro. Noi sì.

La prima cosa da fare (e che stiamo facendo per fortuna **con una discreta cooperazione mondiale**) è la costante sorveglianza del cielo.

È la prima arma contro un asteroide: saperlo individuare in tempo.

Progetti come **Pan-STARRS** alle Hawaii, il telescopio **Catalina Sky Survey** in Arizona e il futuro **NEO Surveyor** della NASA monitorano costantemente il cielo alla ricerca di NEO (Near-Earth Objects).

Oggi conosciamo decine di migliaia di oggetti vicini alla Terra e stimiamo la loro traiettoria con precisione, ma molti, soprattutto i più piccoli al di sotto dei 2 o 3 metri, restano ancora invisibili fino a pochi giorni dall'avvicinamento o addirittura dopo l'impatto, come quello esploso nei cieli di **Čeljabinsk**, in Russia, il 15 febbraio 2013, quando un asteroide di circa 15-20 metri esplose in atmosfera, a circa 30 km di altezza, con una potenza paragonabile a 500 chilotoni, generando un'onda d'urto che causò danni diffusi a Čeljabinsk e ferì circa 1.500 persone.

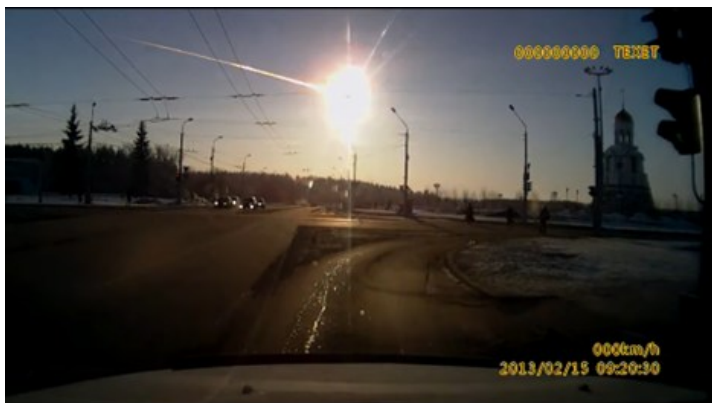


Figura 6.1: esplosione in atmosfera dell'asteroide di Čeljabinsk

A differenza dell'evento di Tunguska (1908), che avvenne in una remota area siberiana, Čeljabinsk è una città abitata e l'esplosione fu ben documentata grazie alle numerose registrazioni video di telefoni cellulari.

La sfida più difficile: cooperare.

La tecnologia paradossalmente potrebbe non essere il vero ostacolo.

Una missione di deviazione richiederebbe coordina-

mento globale: decisioni rapide, condivisione dei dati, delle tecnologie, impegno finanziario e cooperazione tra potenze mondiali.

E qui ... **la nostra specie potrebbe essere meno "unita" dei dinosauri.**



Figura 6.2: un frammento dell'asteroide di Čeljabinsk

FONTI

Link web (per aprire: Ctrl+click)

[Wikipedia: Famiglia Apollo](#)

[ScienceDirect: Deviazione per impatto in condizioni realistiche](#)

[Science Direct: Deviazione di asteroidi con impattatori multipli](#)

[MEDIAINAF TV: Quando il cielo cadde sopra Čeljabinsk](#)

[Astrospace: Dimorphos: nuove simulazioni escludono i detriti come causa del cambiamento orbitale post-impatto](#)

[HDblog: L'Europa stringe accordi spaziali con Corea e Giappone: nasce la missione verso l'asteroide Apophis](#)

[The Planetary Society: Cinque tecniche di deviazione degli asteroidi per salvare la Terra](#)

Keck Institute for Space Studies: Rapporto del Keck Institute che analizza tecniche e missioni per la deviazione degli asteroidi potenzialmente pericolosi

NASA: Studio sulle tecniche di deviazione di asteroidi/comete per missioni di difesa planetaria

PNAS: Come gli impatti cinetici agiscono sui fragili asteroidi "rubble pile", ammassi tenuti insieme solo dalla gravità

Astrospace: La missione Hera è partita. Inizia il suo viaggio verso gli asteroidi Didymos e Dimorphos

NASA: La NASA conferma che l'impatto della missione ha cambiato il moto dell'asteroide Dimorphos, prima prova concreta di difesa planetaria

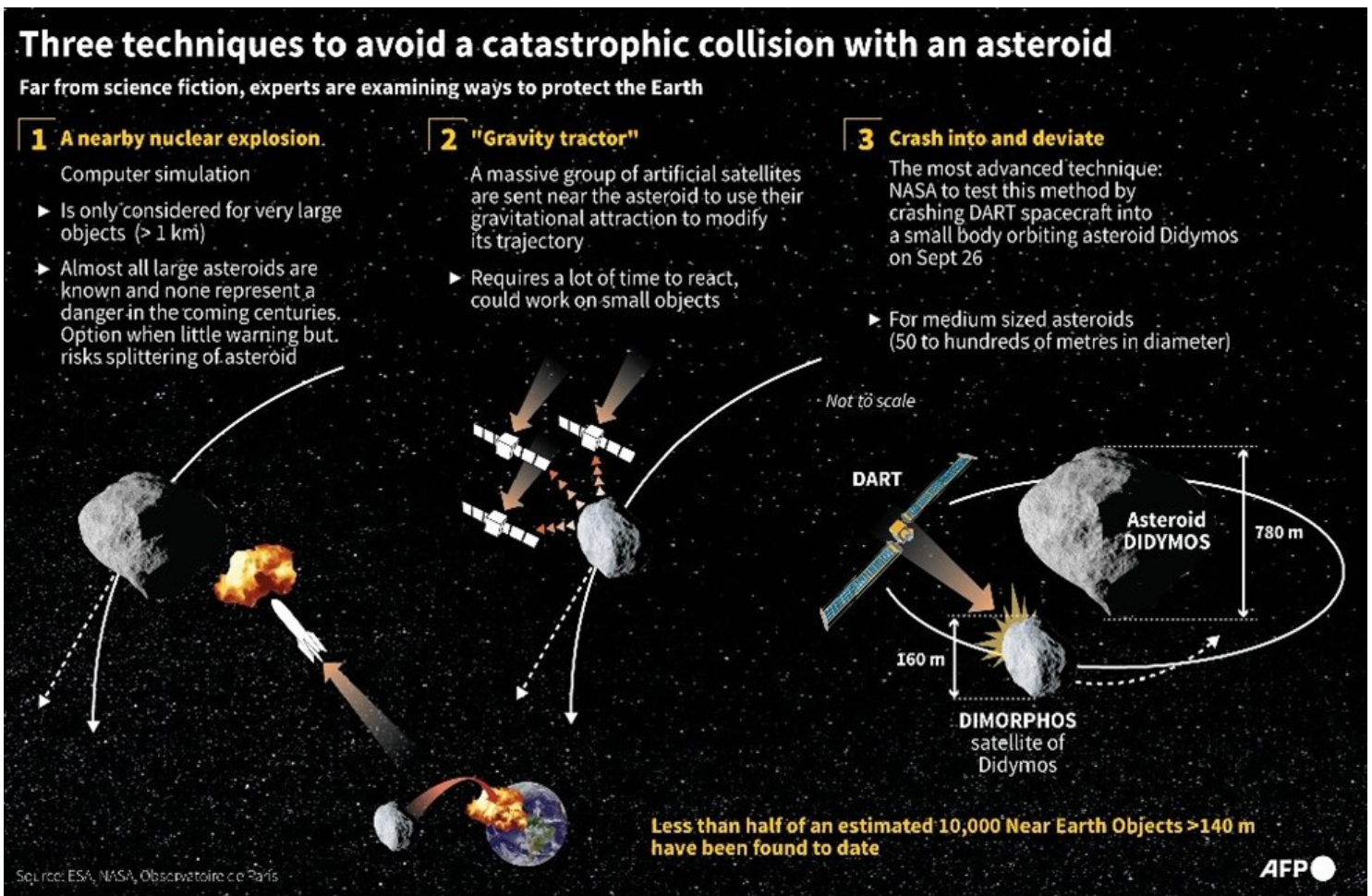


Figura 6.3: veduta di insieme di tre tecniche di deviazione.

UN VIAGGIO FORTUNATO

APPUNTAMENTO RIUSCITO CON IL CIELO DANZANTE DEL NORD

di Antonio Melandri



Dopo "Un viaggio improvvisato" (Il Cosmo News 53/2022) e "Un viaggio programmato" (Il Cosmo News 59/2023), ritorno sulle pagine della nostra rivista con: "Un viaggio fortunato".

Il viaggio in questione è quello in Islanda, che ho fatto con mia figlia Arianna a settembre 2025.

Era stato programmato per avere la massima probabilità di osservare l'**aurora boreale**, ma senza la necessaria dose di fortuna e la collaborazione del vento solare l'esperienza avrebbe potuto avere un esito molto meno spettacolare.

La nostra avventura è iniziata **domenica 14 settembre**, con la partenza da Milano Linate, scalo a Francoforte e arrivo, verso mezzanotte, all'aeroporto di Keflavik in Islanda.

Un primo consiglio per chi avesse intenzione di andare in Islanda, è quello di cercare voli diretti, magari di Islandair... la scelta di volare con Lufthansa, non è stata particolarmente azzeccata. L'aver fatto scalo a Francoforte, insieme ai ritardi in partenza e arrivo, ci ha fatto perdere tempo prezioso che sarebbe stato meglio dedicare alla visita del paese.

Perfetta invece la scelta di partire nel periodo dell'equinozio di autunno, considerando che un obiettivo del viaggio era vedere l'aurora boreale. Il periodo prossimo all'equinozio, ci ha garantito giornate equamente divise tra giorno e notte. Questo ci ha permesso di avere ore di buio da dedicare all'attesa dell'aurora e alle osservazioni del cielo boreale.

Per quanto non fossimo attrezzati con telescopi, il

cielo Islandese si è dimostrato particolarmente buio. Se fossimo partiti nel periodo del solstizio d'estate, il sole di mezzanotte non ci avrebbe consentito di godere del cielo notturno e dell'aurora.

Partire nel periodo invernale avrebbe limitato le possibilità di visita del Paese poiché la parte nord diventa praticamente inaccessibile a causa delle condizioni meteo, e anche le ore di luce disponibili sarebbero state molto ridotte.

Anche le temperature notturne, nel periodo invernale e primaverile, sono state un fattore importante nella scelta di viaggiare alla fine dell'estate. A settembre abbiamo avuto temperature che oscillavano tra qualche grado sopra lo zero, di notte, e dieci-quin dici gradi diurni, a seconda dell'insolazione.

Un altro punto a favore del viaggio durante l'equinozio è l'**effetto Russell-McPherron**. Identificato nel 1973 dai due geofisici di cui porta il nome, consiste nell'allineamento dei campi magnetici terrestri e solare. In questo periodo, si presentano allineati e con polarità opposte, favorendo l'ingresso delle particelle cariche del vento solare, che interagendo con l'atmosfera provocano le aurore boreali [1].

L'aurora boreale è un fenomeno atmosferico causato dall'interazione di particelle cariche di origine solare (vento solare) con gli atomi e le molecole della ionosfera. I colori con cui si presenta l'aurora sono dovuti alle diverse lunghezze d'onda della luce emessa dagli atomi e dalle molecole che si diseccitano [2]. L'ossigeno atomico è responsabile del colore rosso (lunghezza d'onda 630 nm), l'ossigeno molecolare per il verde (557,7 nm) e l'azoto causa il colore blu.

L'intensità dell'attività solare è uno dei principali parametri da valutare nella previsione dell'aurora.

Il Sole è soggetto a un ciclo di attività di 11 anni e proprio quest'anno siamo all'apice del ciclo corrente (massimo solare) [3]. Durante questa fase di elevata attività sulla superficie del Sole avvengono fenomeni molto energetici che possono arrivare ad influenzare la vita sulla Terra.

L'indicatore principe dell'andamento del ciclo, è da sempre il conteggio delle macchie solari.

Le osservazioni scientifiche delle macchine solari

sono iniziate già nel 1600, con **Galileo Galilei** tra i primi a usare il telescopio per le osservazioni solari. La periodicità di 11 anni dell'attività solare fu scoperta, grazie a queste osservazioni, nel 1843 da **Heinrich Schwabe**. E' iniziato allora il calcolo giornaliero del **numero di Wolf**, un numero che si ottiene combinando il numero di gruppi di macchie e il numero totale di macchie.

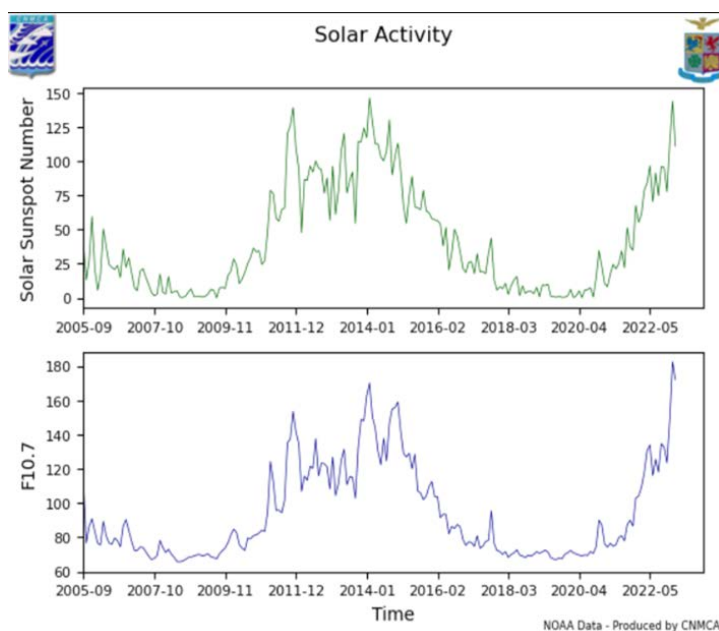


Figura 1: Andamento del numero di macchie presenti sul disco solare (sopra), e del flusso radio emesso dal Sole (sotto) - Fonte NOAA

Oggi, grazie alla flotta di osservatori solari in orbita e agli osservatori terrestri, esistono siti web come spaceweather.com e App dedicate alle previsioni dell'attività solare ed alla visibilità dell'aurora.

Per la settimana del nostro viaggio in Islanda le previsioni erano incoraggianti. Fortunatamente, proprio durante la nostra permanenza in Islanda, si è aperto un **buco coronale**, che ha favorito l'arrivo di particelle cariche nell'alta atmosfera.

Ma proseguiamo con ordine e seguiamo le tappe del viaggio in ordine cronologico.

La visita dell'Islanda, in genere, avviene percorrendo la strada nr. 1, chiamata **Hringvegur**. È un anello che segue la costa dell'isola e solo da pochi anni è completamente asfaltato. Nella "bella" stagione può essere percorsa con un'auto a noleggio in modo autonomo, anche se richiede molta cautela considerando le mutevoli condizioni meteo.

1° giorno – 15 settembre

Giorno di trasferimento da *Reykjavik* a *Akureiri*, con visita alle cascate di *Hraunfossar* e *Barnafoss*. Avrete già capito che quando incontreremo località con il suffisso “foss”, dovremo aspettarci una cascata. *Hraunfossar* ha la particolarità di sgorgare dagli strati superficiali di una colata lavica e non presenta una sorgente ben definita.



Figura 2: La cascata di *Barnafoss*

Successivamente abbiamo effettuato la prima ascensione a un cratere: quello di *Grábrók*.

La sommità del cratere è facilmente raggiungibile ed è possibile percorrere l'intero perimetro, da cui si può ammirare il cratere “gemello” poco distante.



Figura 3: Il cratere vulcanico *Grábrók*

Con una piccola deviazione dalla strada n.1, si può visitare il canyon di *Kolugljúfur*.



Figura 4: Vista sul secondo cratere vulcanico *Grábrók*



Figura 5: *Kolugljúfur* Canyon e le cascate *Kolufossar*

2° giorno – 16 settembre

Nel fiordo di *Akureyri* si trovano cetacei tutto l'anno e si possono trovare diversi operatori che organizzano escursioni di **whale watching**.

Ci si può imbarcare su una delle barche che periodicamente lasciano il porto per circa tre ore, durante le quali, con un po' di fortuna, si potranno avvistare balene, delfini e orche. Nel nostro caso abbiamo avuto la fortuna di incontrare due megattere impegnate a nutrirsi, immergendosi periodicamente in profondità, per poi riemergere dopo circa dieci minuti. Prima di immergersi si danno una spinta per poter scendere in profondità e mostrano la pinna caudale.



Figura 6 e 7: Megattere nel fiordo di Akureyri

Le foto delle pinne caudali possono essere utilizzate per identificare l'esemplare, in quanto rappresentano una sorta di carta di identità di ogni balena. In rete esiste un database dedicato... Potremmo definirlo un'*anagrafe dei cetacei*.

Al termine dell'escursione, abbiamo ripreso il viaggio lungo la n.1 in direzione della cascata *Goðafoss*,

la cascata degli dei.



Figura 8: La cascata di Goðafoss

A questo punto eravamo arrivati nel nord del Paese, dove il paesaggio è caratterizzato dagli effetti del vulcanismo, con vasti campi di lava e vulcani all'orizzonte.

La destinazione del giorno sarebbe stata *Mývatn*, dove avremmo potuto immergerci nella piscina termale e poi passeggiare tra i crateri dell'omonimo lago, creati dall'eruzione del vulcano *Hverfjall*.

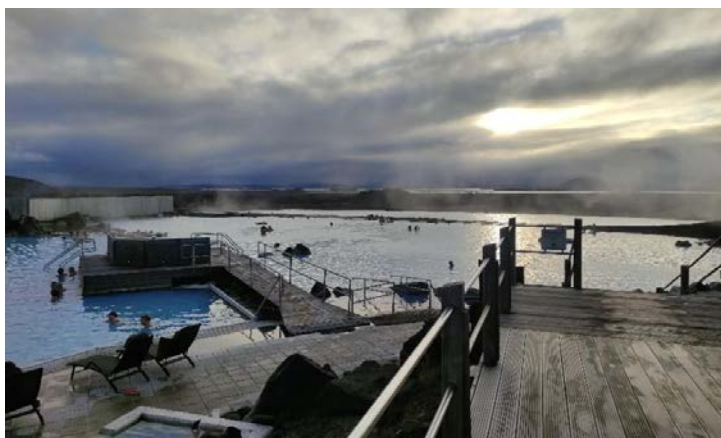


Figura 9: La laguna geotermale di Mývatn

Essendo finita l'estate, non abbiamo subito l'assalto dei fastidiosi moscerini che infestano la zona nella bella stagione.

Dopo cena, durante la quale abbiamo opportunamente evitato di assaggiare la carne di squalo, siamo usciti dall'albergo pieni di speranza ed abbiamo iniziato a scrutare il cielo, per fortuna quasi del tutto sgombro dalle nuvole che lo avevano coperto nel pomeriggio.

Una prima fascia di colore verde è apparsa allo zenit, cominciando a estendersi verso est e verso ovest, aumentando progressivamente di intensità e

presentando via via colori più sgargianti dal rosso al bianco.

Per apprezzare la dinamica del fenomeno vi consiglio la visione del video sul canale YouTube di Arianna Melandri [[Link al video](#)]



Figura 10: Il lago Mývatn



Figura 11 e 12 Aurora boreale sopra Mývatn

L'aurora può risultare spettacolare in foto, grazie alla capacità del sensore di accumulare luce, ma essere deludente a occhio nudo.

Per questo evento invece il video rende benissimo quello a cui abbiamo assistito tramite la visione diretta, anche senza l'ausilio dello smartphone.

Il tempo è volato, guardando a occhio nudo e scattando immagini con telefonini o macchine reflex. Nel mio caso, ho usato una Pentax K1-II con un obiettivo Sigma 16-35 f/2.8.

Grazie al cavalletto, ho provato tempi di esposizione da qualche secondo a qualche decina di secondi, cercando di inserire nelle immagini il panorama e alcune costellazioni facilmente riconoscibili, come Orsa Maggiore, Cassiopea e le Pleiadi.

Il video è stato realizzato con un'iPhone.

Con il passare del tempo la copertura nuvolosa è progressivamente aumentata, mentre di pari passo, l'intensità del fenomeno si è ridotta... era giunto il momento di andare a letto.

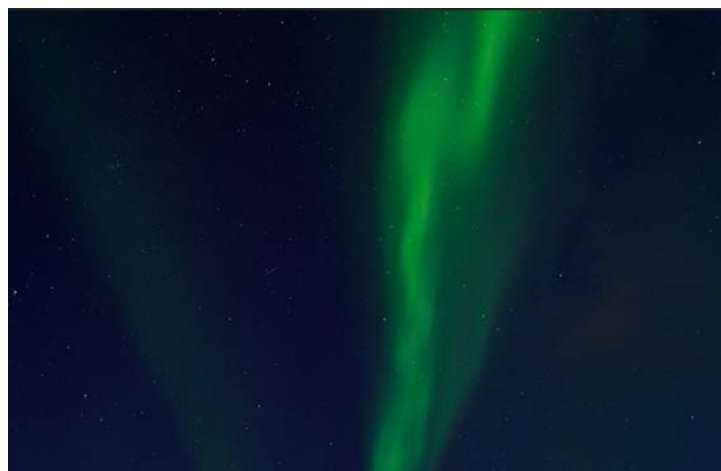


Figura 13 Aurora boreale: dettaglio

3' giorno – 17 settembre

Poco dopo la partenza da Myvatn, ci siamo fermati a visitare *Námaskarð*, una distesa solforosa che ci ricordava alcune zone del Parco di Yellowstone, visitato per il viaggio dell'eclisse solare totale del 2017.



Figura 14 l'area geotermica di Hverir, nota anche come *Námaskarð* o *Námafjall*

Abbiamo poi proseguito per la cascata di *Dettifoss*, famosa per avere la maggior portata d'acqua d'Europa e situata all'interno del Parco Naturale di *Jökulsárgljúfur*.

Un'altra caratteristica dell'Islanda è quella di aver fatto da sfondo per molti film e serie tv, spesso di fantascienza... Riguardatevi la sequenza iniziale di *Alien Prometheus*, per ammirare alcuni panorami dell'Islanda del nord e in particolare di questa cascata.



Figura 15 la cascata di Dettifoss

Per non uscire completamente fradici dalla vista alle varie cascate islandesi, è bene dotarsi di opportuno abbigliamento impermeabile e per alcune di un "poncho" aggiuntivo.

Anche le coperture impermeabili per smartphone si sono rivelate molto utili per poter scattare immagini nelle condizioni di bagnato "estremo".

Terminata la visita della cascata, ci siamo messi in viaggio per raggiungere l'est del Paese, con un drastico cambio di panorama: il terreno vulcanico, pressoché desertico, è stato sostituito da stretti fiordi con accesso diretto al mare.

Meta della giornata è stata Fáskrúðsfjörður, letteralmente: "Fiordo dei Francesi", dove i pescatori francesi sostavano durante il periodo di pesca e dove la loro presenza è ricordata dai nomi delle strade.

In serata abbiamo pernottato in una ex-scuola trasformata in ostello, una soluzione abbastanza diffusa da queste parti... anche ad Akureyri abbiamo soggiornato in una struttura simile.

L'ambiente è dignitoso ma essenziale. I lavandini,

di dimensioni microscopiche, potrebbero essere ancora quelli originali della scuola... In serata, nuovo tentativo di vedere l'aurora, con risultati meno spettacolari, a causa di una leggera copertura nuvolosa.



Figura 16 e 17 Fáskrúðsfjörður - "Fiordo dei Francesi"



Figura 18 aurora sopra Fáskrúðsfjörður

4' giorno – 18 settembre

Dopo una buona colazione ci siamo avviati verso il sud del paese, lasciando i fiordi per le più ampie spiagge e lagune glaciali, originate dai grandi ghiacciai, tra cui il più grande d'Europa, il *Vatnajökull*.



Figura 19 Verso la costa sud dell'Islanda



Figura 20 In riva al Lago Fjallsárlón davanti al ghiacciaio Vatnajökull



Figura 21 Piccoli iceberg galleggiano, spinti dal vento, verso il mare

Da questo giorno in poi, il tempo da variabile è mutato in ventoso e soleggiato. Per i restanti giorni del viaggio non abbiamo più visto nuvole in cielo e abbiamo potuto godere di un clima abbastanza mite durante il giorno, anche se il forte vento ci ha co-

stretto ad annullare l'escursione sulla laguna glaciale.

Durante la serata, gelida, abbiamo colto l'occasione per qualche foto alla Via Lattea.

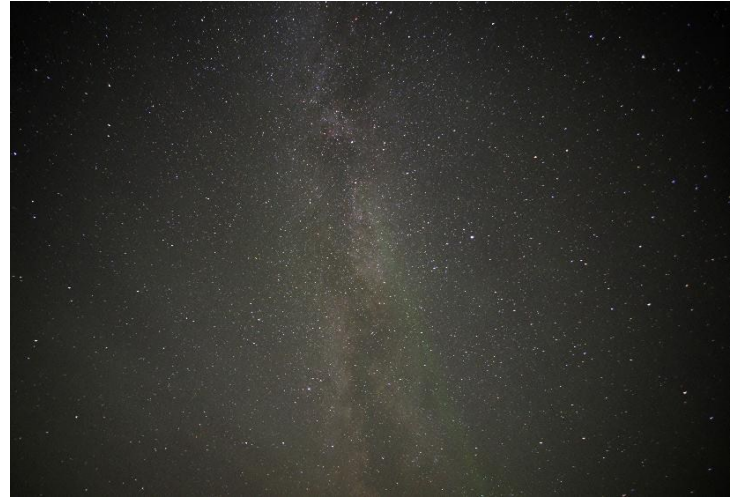


Figura 22 La Via Lattea con qualche fascia verdognola ci ricorda che l'aurora può apparire anche senza essere troppo invadente

5' giorno – 19 settembre

Questa una giornata l'abbiamo dedicata alle cascate del sud del paese, ma la prima sosta è stata al canyon *Fjaðrárgljúfur*.



Figura 23 Il canyon Fjaðrárgljúfur

In seguito abbiamo fatto tappa al villaggio di *Vik*, dov'è ambientata la serie televisiva "*Katla*".

Il *Katla* è un vulcano sub-glaciale, si trova cioè sotto il ghiacciaio *Myrdalsjökull* e in caso di eruzioni, provoca lo scioglimento dei ghiacci e vaste inondazioni.

Lasciata *Vik*, superato un promontorio, si trova la spiaggia nera di *Reynisfjara*, divenuta famosa per la

pericolosità delle onde e per le colonne di basalto esagonali. Questa particolare formazione ha origine quando la lava basaltica, raffreddandosi e contraendosi in modo graduale e uniforme, si frattura in colonne dalla caratteristica forma esagonale.



Figura 24 La Chiesa di Vík (Víkirkirkja)



Figura 25 La spiaggia di sabbia nera di Reynisfjara

Infine ci siamo diretti alle cascate di Skógafoss, Gljúfrabúi e Seljalandsfoss.



Figura 26 La cascata di Skógafoss

Nelle ultime due ci si può letteralmente immergere, visto che per entrambe si può raggiungere la base e la seconda consente un passaggio, molto umido, sul retro.

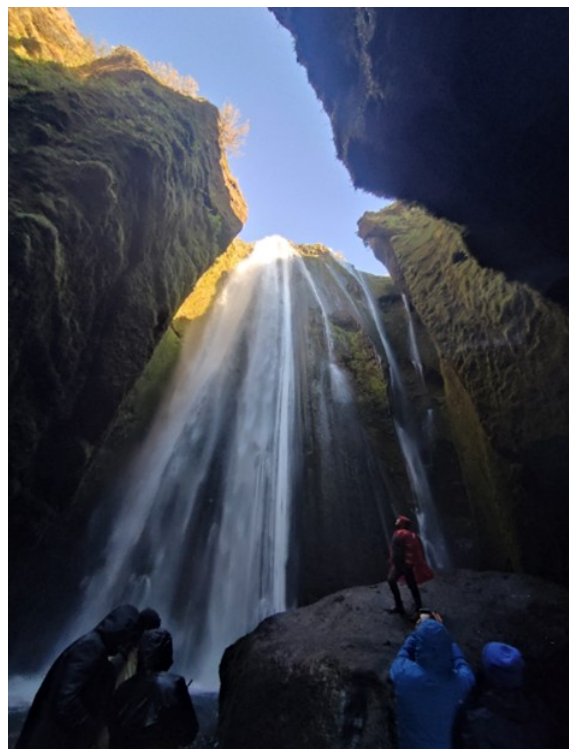


Figura 27 La cascata Gljúfrabúi (o Gljúfrafoss)



Figura 28 La cascata Seljalandsfoss

6' giorno – 20 settembre

L'ultima giornata del tour l'abbiamo dedicata al famoso "Circolo d'Oro" e alla capitale Reykjavik.

Il "Circolo d'Oro" è un anello di "attrazioni" immancabili in un giro dell'Islanda, grazie alla sua possi-

mità alla capitale.

La prima sosta è stata a *Geysir*, località che ha dato il nome al fenomeno del **geyser**, eruzioni di acqua bollente che si ripetono ad intervalli di una decina di minuti.



Figura 29 Geyser in eruzione

A seguire la cascata di *Gullfoss*, famosa anche per essere stata all'origine del movimento ecologista islandese, guidato dalla figlia del contadino proprietario della cascata all'inizio del XX secolo, **Sigríður Tómasdóttir**. La ragazza si oppose ad una società inglese che voleva costruirvi una diga



Figura 30 La cascata di Gullfoss

Infine sosta al parco nazionale di *Þingvellir*, dove è evidente il processo di separazione tra le placche tettoniche americana e europea.

Con questa visita si conclude la parte naturalistica del viaggio e ci si può dedicare alla visita della capitale Reykjavík. Una città vivace, ricca di piccoli negozi e locali dove sedersi, ascoltare musica e mangiare l'onnipresente hot-dog islandese, piatto nazio-

nale non-ufficiale.



Figura 31 Parco nazionale di Þingvellir (Thingvellir)



Figura 32 Serata in un locale di Reykjavík

In tarda serata, partenza per l'aeroporto e volo di rientro verso Linate.

E' stata una settimana intensa, che ci lascia la voglia di tornare per godere un'altra volta dei bellissimi panorami e della natura che gli islandesi, con molta lungimiranza, preservano con cura.

Note

- [1] [Seasonal and diurnal variation of geomagnetic activity: Russell-McPherron effect during different IMF polarity and/or extreme solar wind conditions - Zhao - 2012 - Journal of Geophysical Research: Space Physics - Wiley Online Library](#)
- [2] [Aurora polare - Wikipedia](#)
- [3] [NASA, NOAA: Sun Reaches Maximum Phase in 11-Year Solar Cycle - NASA Science](#)

GLI EVENTI DEL C.O.S.MO

Di seguito l'elenco (parziale) dei prossimi eventi del C.O.S.Mo.

Sono quelli che sono già organizzati, ma altri potrebbero essere realizzati, per questo restate sintonizzati con i nostri social (trovate i link in fondo a questa sezione).



Primi due mercoledì di Dicembre 2025

Ore 18:10 presso UTE (Modena)

Ultime due lezioni di Intelligenza Artificiale

Corso di Intelligenza Artificiale diviso in 8 lezioni.

Le ultime due verteranno su "AI e autocoscienza. Due cose distinte?" e su "AI: prospettive future sul lungo termine".

In particolare, questi sono i temi che tratteremo:

L'Automazione la ha fatta da padrone in dalle precedenti rivoluzioni industriali, ma ora con l'AI può davvero farci fare un balzo in avanti verso la *Lights-Out-Factory*: fabbriche talmente automatizzate che si potranno spegnere le luci in quanto non ci sarà bisogno di continua presenza umana durante la produzione.

L'essenza dell'AI e la sua attuale base hardware su silicio ed elettronica a stato solido.

L'essenza dell'autocoscienza e la sua base fisica: il nostro cervello.

Congetture a livello di fisica quantistica sulla natura della coscienza di sé.

I Computer Quantici.

Il corso è tenuto all'interno dell'Università della Terza Età e prevede iscrizione al corso presso di essa.

Luolo: Università della Terza Età, via Cardinal Morone, Modena

Relatore: Davide Borghi

Lunedì 16, 23, 30 Marzo, 13, 20, 27 Aprile, 4, 11 Maggio 2026

Ore 16:00 presso UTE (Modena)

Lezioni di Astrofisica e Astronautica

Corso di Astrofisica e Astronautica diviso in 8 lezioni.

Il programma del corso include nuove prospettive, integrando, fisica moderna, fisica quantistica, AI, le sfide ambientali e le nuove frontiere dell'energia, le origini del cosmo, le future frontiere dell'esplorazione spaziale, il nostro posto nell'universo.

Il corso è tenuto all'interno dell'Università della Terza Età e prevede iscrizione al corso presso di essa.

Luolo: Università della Terza Età, via Cardinal Morone, Modena

Relatore: Luigi Borghi

Martedì 3, 10, 17, 24 Marzo 2026

Ore 21:00 presso Planetario di Modena

Conferenze del ciclo "un altro equinozio con il COSMo"

I temi delle prossime conferenze del ciclo "un altro equinozio con il COSMo" verteranno su:

- Lato oscuro del Sistema Solare
- Le sonde Voyagers
- Musica e Universo (seconda puntata)
- Antikythera Mechanism.

Luolo: Planetario di Modena sul sito

Relatori: Davide Borghi, Ciro Sacchetti, Luigi Borghi, Roberto Castagnetti, Claudia Rondelli, Leonardo Avella

GLI EVENTI DEL C.O.S.MO

Venerdì 22, Sabato 23 e Domenica 24 Maggio 2026

dalle 9:00 alle 17:00 presso BolognaFiere

Stand de Il COSMo presso Fiera PLAY

Anche quest'anno partecipiamo a fiera PLAY e avremo il nostro stand.

Curatori: direttivo de Il COSMo con il supporto di ACME, REA

Domenica 17 Maggio 2026

Dalle ore 10:10 alle ore 23:00 presso Villa Tusini e locali antistanti, San Prospero (Modena)

Festival della Scienza

La nostra associazione Il COSMo, con la collaborazione delle associazioni REA (Reggio Emilia Astronomia) e ACME, terrà la seconda edizione del Festival della Scienza con conferenze, stands a tema scientifico e di esplorazione spaziale, dibattiti, osservazione del Sole con telescopi solari e del cielo notturno con telescopi. Ci sarà anche la band musicale *MTV Noon* che si esibirà con brani musicali a tema spaziale, ci saranno giochi da tavolo a tema scientifico, in particolare di fisica quantistica, ci saranno elementi di costruzione e lancio di razzi.

Luogo: San Prospero sul Secchia, Modena

Curatori: direttivo de Il COSMo con il supporto di ACME, REA



GLI EVENTI DEL C.O.S.MO

**Altre attività ed altri eventi sono in fase di organizzazione
Per essere informati è possibile utilizzare il nostro sito**

[Clicca qui per andare alla pagina Eventi](#)

RESTATE AGGIORNATI!

Ma non solo sul sito

SEGUITECI SUI NOSTRI SOCIAL

[Clicca qui per l'elenco dei social](#)

Per Info e Contatti

Sito: www.ilcosmo.net

Email: info@cosmo.net



Uscita del prossimo numero:

MARZO 2026