

BENVENUTO FRAU

*Strumenti
di calcolo*

Note di tecnologia meccanica antica

I



GRUPPO ARCHEOLOGICO ROMANO
Roma 1980

INDICE

Pag.

- 3 Premessa
- 7 Il Meccanismo di Anticythera
- 11 *La scatola*
- 13 *Gli ingranaggi*
- 15 *Funzionamento del meccanismo*
- 21 *Il quadrante frontale*
- 23 *I quadranti posteriori*
- 24 *Analogie con altri meccanismi*
- 26 *Appendice*
- 27 Gli orologi anaforici
- 33 Gli Analemmi
- 39 La teoria degli eccentrici.
- 41 L'orologio anaforico da Vitruvio
- 49 Un contamiglia
- 57 Strumenti punici per la navigazione

Disegni: Benvenuto FRAU

Quaderni del G.A.R. n. 13

Serie TECNOLOGIA

P R E M E S S A

« I due secoli che hanno inizio col 330 a.C. diedero una messe di invenzioni meccaniche che non trova riscontro in alcun periodo simile fino al 1600 a.C. » così Gordon Childe in una delle sue maggiori opere (1).

Dall'Astronomia, alla Meccanica, alla Musica, alla Matematica ecc. si ebbe uno sviluppo tecnologico tale che alcune conquiste scientifiche paradossalmente avrebbero potuto dare avvio a molte applicazioni industriali del 1700.

Fra le scienze, l'*Astronomia*, svincolata da una sorta di dipendenza teologica dopo il periodo aureo aristotelico muove ora passi giganteschi nello studio del movimento dei pianeti, del sole, della luna e crea elaborati calendari luno-solari.

Dalla concezione geocentrica, con pianeti in orbita perfettamente circolare, in un universo racchiuso da 59 sfere concentriche, attraverso una prima timida enunciazione di ipotesi policentrica con Eraclide Pontico (2), si passerà con Aristarco da Samo (3) alessandrino, a propugnare l'ipotesi eliocentrica che verrà poi ripresa solo nel 16° secolo da Copernico.

Ai tempi dell'Accademia di Platone e di Aristotele erano già notevoli gli studi di Callippo, Metone ed Eudosso (v. note 8-9-12) che avevano annotato con buona approssimazione i tempi dei solstizi e degli equinozi.

Pur nella visione di un universo regolato da movimenti uniformi ed ordinati però il problema delle variazioni di velocità dei pianeti veniva formulato in questi termini (4):

(1) V. Gordon Childe: « Il progresso del Mondo Antico » Einaudi 1949.

(2) 388-310 a.C.

(3) 310-230 cca a.C.

(4) B. Farrington: « Storia della Scienza Greca » 1953.

Quali sono i movimenti uniformi e ordinati che una volta assunti possono spiegare i movimenti dei pianeti?

Ma con Ipparco (n. nel 125 a.C.) e con Tolomeo (m. dopo il 161 d.C.) questa concezione viene stravolta con la seguente enunciazione:

Se ci atteniamo all'assunto che il Sole si muova a velocità costante percorrendo un cerchio perfetto, allora l'unica spiegazione possibile alle sue variazioni in velocità angolari da noi osservate è che noi non siamo situati al centro del cerchio intorno a cui esso gira.

Siamo alla teoria degli eccentrici che Gemino (5), discepolo di Posidonio, codifica nella sua opera: « Introduzione all'Astronomia ».

In quest'opera Gemino dimostra e precisa la ripartizione dei tempi degli equinozi e dei tropici, il corso del sole e degli stessi pianeti attraverso il cerchio zodiacale.

Mentre l'orologio di Ctesibio, come vedremo, tiene conto delle variazioni dei tempi degli equinozi e dei solstizi ed anzi l'intero meccanismo è impostato su questo assunto e si basa sulle osservazioni senza spiegazioni di Eudosso, non è improbabile invece che alla base della costruzione degli analemmi secondo i canoni di Vitruvio siano appunto i dettati di Gemino.

Per la *Meccanica*, dalla depressione in cui Platone aveva relegata la condizione intellettuale dei tecnici — per cui « non solo al tecnico viene negato ogni merito di inventività, ma anche il possesso di una vera scienza dell'arte della manifattura » (4) — si giunge con Ctesibio, ingegnere della Scuola Alessandrina alla creazione di un'alta scuola di ingegneria meccanica.

E' certo — scrivono Brunet e Mieli (6) — che in generale gli ingegneri antichi, non solo quelli di Alessandria, tentavano solo in via eccezionale di applicare le loro macchine a risultati utili. Non venne loro in mente, ad esempio, di applicare la forza dell'acqua, dell'aria compressa o del vapore come fonte di energia, ai vari mestieri e di ottenere risultati analoghi a quelli che

(5) vissuto verso il 70 a.C.

(6) Brunet e Mieli: « Histoire des Sciences: Antiquité ».

lo sviluppo della civiltà moderna ha rivelato. Si potrebbe anche supporre che con la conoscenza che avevano e indirizzando ai fini pratici i meccanismi che ideavano per gioco e divertimento, gli antichi ingegneri avrebbero potuto arrivare ad applicazioni analoghe a quelle che fecero la gloria del 18° secolo. Tuttavia pur registrando il loro fallimento, piuttosto strano per una mente moderna, bisogna riconoscere che l'attenzione dei tecnici dell'antichità non venne applicata esclusivamente a giocattoli.

Vennero costruite alcune macchine di grande utilità, come pompe per attingere acqua o spegnere fuochi. L'ingegnosità degli alessandrini si esercitò soprattutto nel perfezionare un gran numero di strumenti di precisione, assai difficili a costruirsi e indispensabili anche al progresso della scienza. Intendiamo parlare dei loro strumenti astronomici e dei loro orologi ad acqua.

Le note che seguono riguardano alcune di queste macchine e di questi strumenti:

- A) IL MECCANISMO DI ANTICYTHERA per la elaborazione dei dati astronomici e calendariali;
- B) UN CONTAMIGLIA, descritto da Vitruvio;
- C) GLI ANALEMMI, secondo i dettami di Vitruvio;
- D) L'OROLOGIO AD ACQUA di Ctesibio;
- E) STRUMENTI PUNICI DI NAVIGAZIONE.

IL MECCANISMO DI ANTICYTHERA

Un esempio eccezionale di raffinata tecnologia antica è senza dubbio quello che ci viene proposto dai frammenti ritrovati con la scoperta ed il recupero del prezioso carico di manufatti della nave naufragata a punta Vliklada, nei pressi di Port Potamo, nella parte settentrionale dell'isola di ANTICYTHERA (lat.) o Cerigotto, nel canale omonimo tra il Peloponneso e l'isola di Creta, presumibilmente nel I sec. a.C.

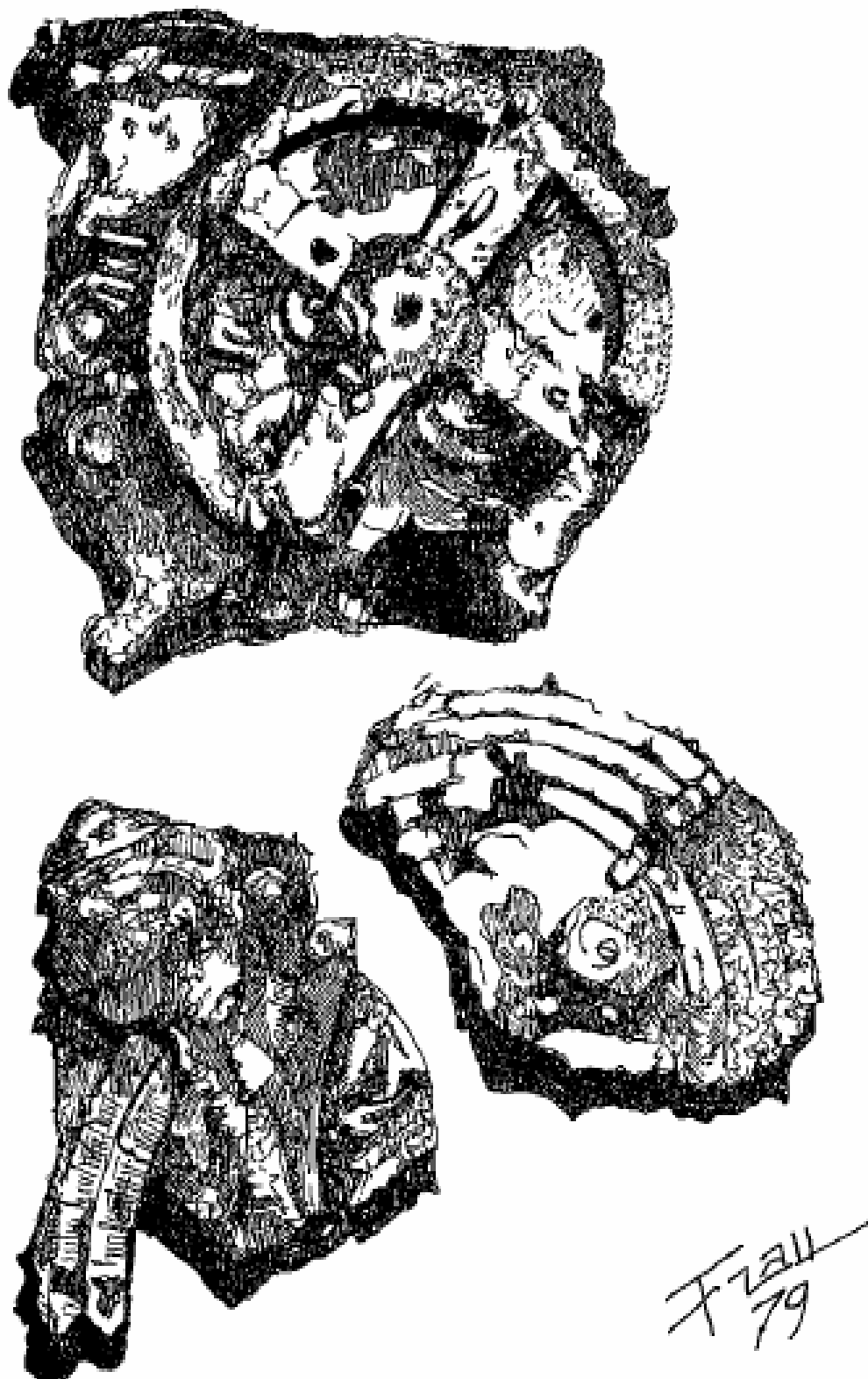
La scoperta della nave avvenne verso la Pasqua del 1900 da parte di alcuni pescatori di spugna che rientravano a casa dopo un normale giro di pesca nelle acque della Tunisia e diede ai musei greci oltre ad una notevole quantità di statue e manufatti pregevoli anche alcuni frammenti metallici che si riveleranno più tardi parti di uno strumento di altissimo valore tecnologico.

Studi accurati sono stati condotti da parte di vari archeologi ed appassionati. Studi che tuttora proseguono e che sono approdati a risultati quanto mai lusinghieri. Vale la pena di ricordare i greci Svoronos, Théophanidis, Rediadis, il tedesco Rehm ma soprattutto l'americano Derek De Solla Price (7) che ha dedicato allo studio di questi reperti molti anni utilizzando la consulenza scientifica del prof. Earle R. Caley per le analisi chimiche, del prof. Cyril Stanley Smith per le analisi dei metalli e per gli studi spettrografici.

Alla luce di questi ultimi studi i frammenti ritrovati (fig. 1) si sono rilevati parti di un complesso meccanismo di calcolo calendariale le cui principali caratteristiche tecniche sono rappresentate da:

- un complesso di 30 ingranaggi e di altrettanti pignoni;
- un gruppo ingranaggio trainante;
- un sistema ingranaggio differenziale.

(7) Derek De Solla Price: «GEARS FROM THE GREEKS» Yale 1975.



F 2111
79

FIGURA 1 I FRAMMENTI DI ANTICYTHERA
(Da foto del Museo Nazionale Archeologico di Atene)

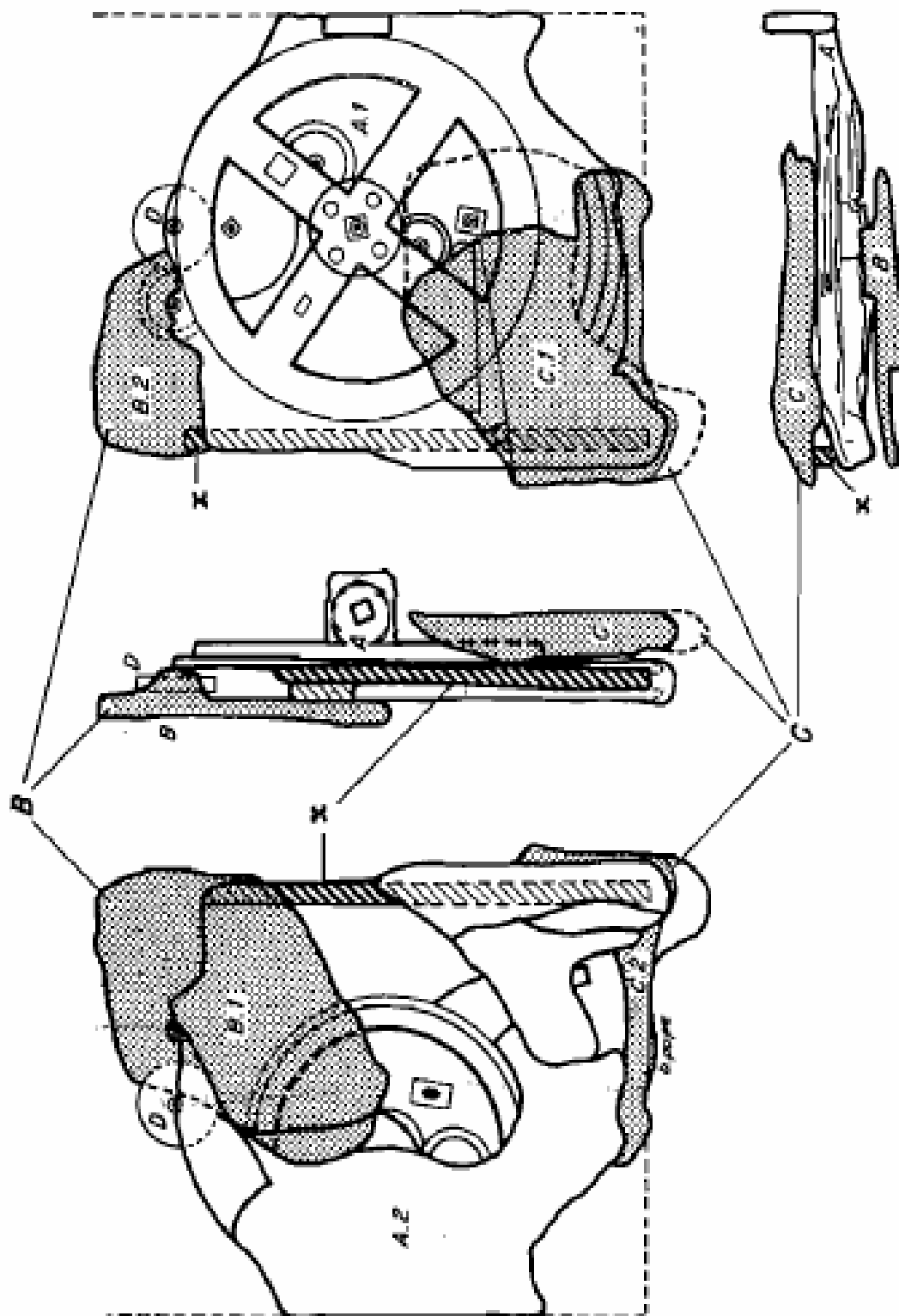


FIGURA 2

COMPOSIZIONE DEI FRAMMENTI
 (da V. De Solha Price in «Gears from the Greeks»)

Il tutto ordinato su due plance metalliche in bronzo.

Questi ingranaggi muovevano indicatori su quadranti contrapposti ed erano protetti da sportelli recanti indicazioni astronomiche, parapegma ecc.

Il tutto atteneva con ogni probabilità allo studio della posizione delle costellazioni, del sole e della luna in un sistema calendariale basato su un ciclo metonico (8) e callippico (9) di 19 e 76 anni, composto di 12 mesi lunari o sinodici.

E' questa una delle rare volte in cui nozioni di tecnica meccanica antica teorizzate trovano conforto in un reperto che offre così larga profusione di elementi all'esame ed allo studio dell'appassionato.

I risultati sin qui ottenuti però non sarebbero stati possibili se moderni mezzi di ricerca non avessero consentito di indagare oltre le concrezioni che avviluppano i quattro frammenti superstiti ma soprattutto se non fosse intervenuta l'opera appassionata, minuziosa e competente del prof. Price.

Dalla foto dei frammenti (Fig. 1) è possibile rilevare la posizione che essi occupavano per realizzare l'unità dello strumento, i cui resti, non va dimenticato, hanno superato pressioni conseguenti al naufragio su fondali di 50 metri, l'erosione marina prolungata per oltre venti secoli, la distorsione prodotta dai pesi sovrastanti, le incrostazioni batteriche sottomarine ecc.

I lavori di pulitura inoltre, operati sui frammenti, hanno messo in luce elementi già coperti da concrezioni ma hanno anche sottratto ad una possibile analisi altri elementi, ora scomparsi, che si sarebbero rivelati utili per definire sovrastrutture in legno, ad esempio, che certamente rivestivano parte del meccanismo.

(8) da Metone — Astronomo ateniese dal V sec. a.C. Noto per aver introdotto in Atene nel 432 a.C. il ciclo detto appunto metonico che consisteva nell'intercalare, durante un periodo di 19 anni (composti da 12 mesi lunari o sinodici di 29, 5306 giorni) altri 7 mesi intercalari portando l'intero ciclo a 235 mesi sinodici = 6940 gg.

(9) da Callippo Ciziceno — Astronomo e matematico del IV sec. a.C. Da lui il periodo « callippico » per calcolare con grandissima precisione il moto della luna. Il periodo « callippico » comprendeva 940 lunazioni per 25759 giorni. Emendò il sistema astronomico di Eudosso detto delle sfere omocentriche giungendo a calcolare con precisione i movimenti apparenti del sole, della luna, delle stelle e dei pianeti.

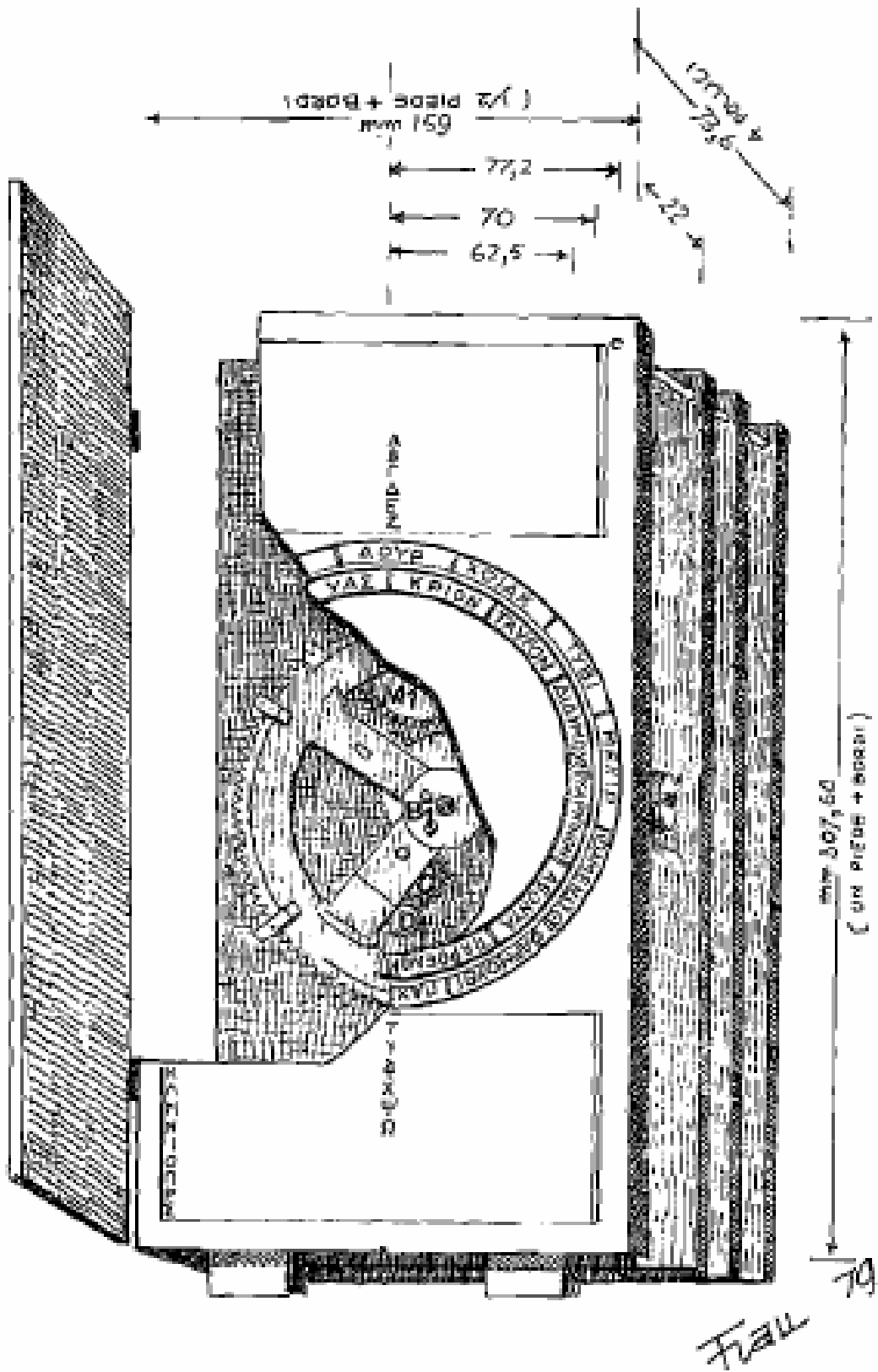


FIGURA 3

MECCANISMO DI ANTICYTHERA

Ricostruzione del quadrante anteriore della scatola

La posizione originaria dei frammenti è quella che risulta alla Fig. 2 ed è stata rilevata dalla citata opera del Price.

Gli elementi che si rilevano nei vari frammenti, settori graduati, ingranaggi, pignoni, oltre a quelli che sono stati messi in evidenza dalle analisi fisiche e chimiche, dalle radiografie ecc. hanno permesso di accertare che lo strumento originario doveva avere forma di scatola delle seguenti dimensioni approssimative: ALTEZZA mm. 310 cca, LARGHEZZA mm. 160 cca, SPESSORE mm. 84 cca. (Fig. 3).

All'interno di questa scatola due lamiere in bronzo dello spessore di circa 1/8 di pollice romano costituivano la base per l'assemblaggio di tutti gli ingranaggi dello strumento.

Complessivamente sei pareti parallele suddividevano lo spazio interno della scatola: le due di base su cui erano impiantati gli ingranaggi, le due contrapposte su cui erano ricavati i quadranti ed i due sportelli contrapposti.

Dalla parete laterale destra usciva l'asse dell'ingranaggio trainante.

Oltre alle tracce degli ingranaggi, delle lamine e dei quadranti sono rilevabili nei frammenti brani di scrittura con parti di parapegma (sorgere e tramontare di alcuni astri), una sequenza di nomi di costellazioni su un settore del quadrante frontale ecc.

La scatola

La sequenza delle lamine di bronzo componenti il complesso meccanismo avrebbe avuto il seguente ordine:

- a) lamina dello sportello frontale;
- b) lamina del quadrante anteriore con:
 - indicazione di parapegma nella parte inferiore;
 - disco indicatore sole-luna e manaeus e relativo universo zodiacale;
- c) lateralmente ingranaggio trainante;

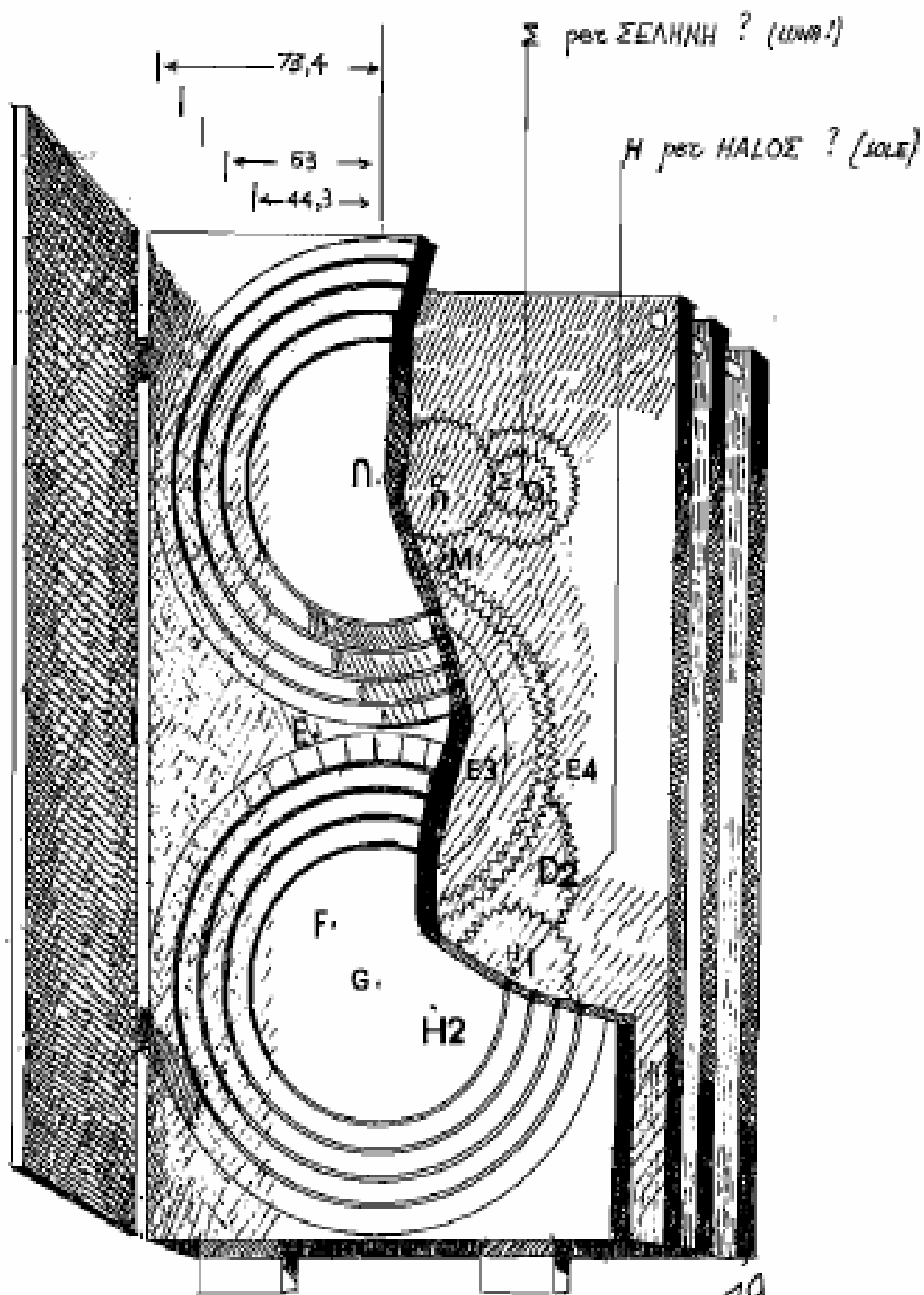


Fig. 79

FIGURA 4

MECCANISMO DI ANTICYTHERA
 Ricostruzione del quadrante posteriore della scatola

d) lamina di base per gli ingranaggi frontali con insieme gruppo ruote dell'asse B;

e) lamina di base per gli ingranaggi posteriori con insieme girevole del differenziale sull'asse E;

f) lamina del quadrante posteriore con due quadranti a più cerchi concentrici forse per un sistema planetario;

g) lamina dello sportello posteriore.

Price calcola che la lamiera del quadrante posteriore può essere stata separata dalla lamiera base (per l'assemblaggio degli ingranaggi gravitanti sull'asse E) da una distanza di circa 13 mm. sufficiente per circa sei strati di ingranaggi ed è portato a credere che con lo spessore della lamiera questo spazio poteva corrispondere, nelle intenzioni del costruttore, a circa un pollice di piede romano: oca mm. 18,4. Invece per quanto riguarda l'insieme frontale Price, basandosi sulle dimensioni dell'ingranaggio trainante a denti contrapposti A, (mm. 27,8 mm. 22 + 14 corona dentata) stima che lo spessore minimo possibile di questo insieme possa essere stato di 40 mm. ma non ritiene di escludere che esso possa essere arrivato a 48/65 mm. (Fig. 5).

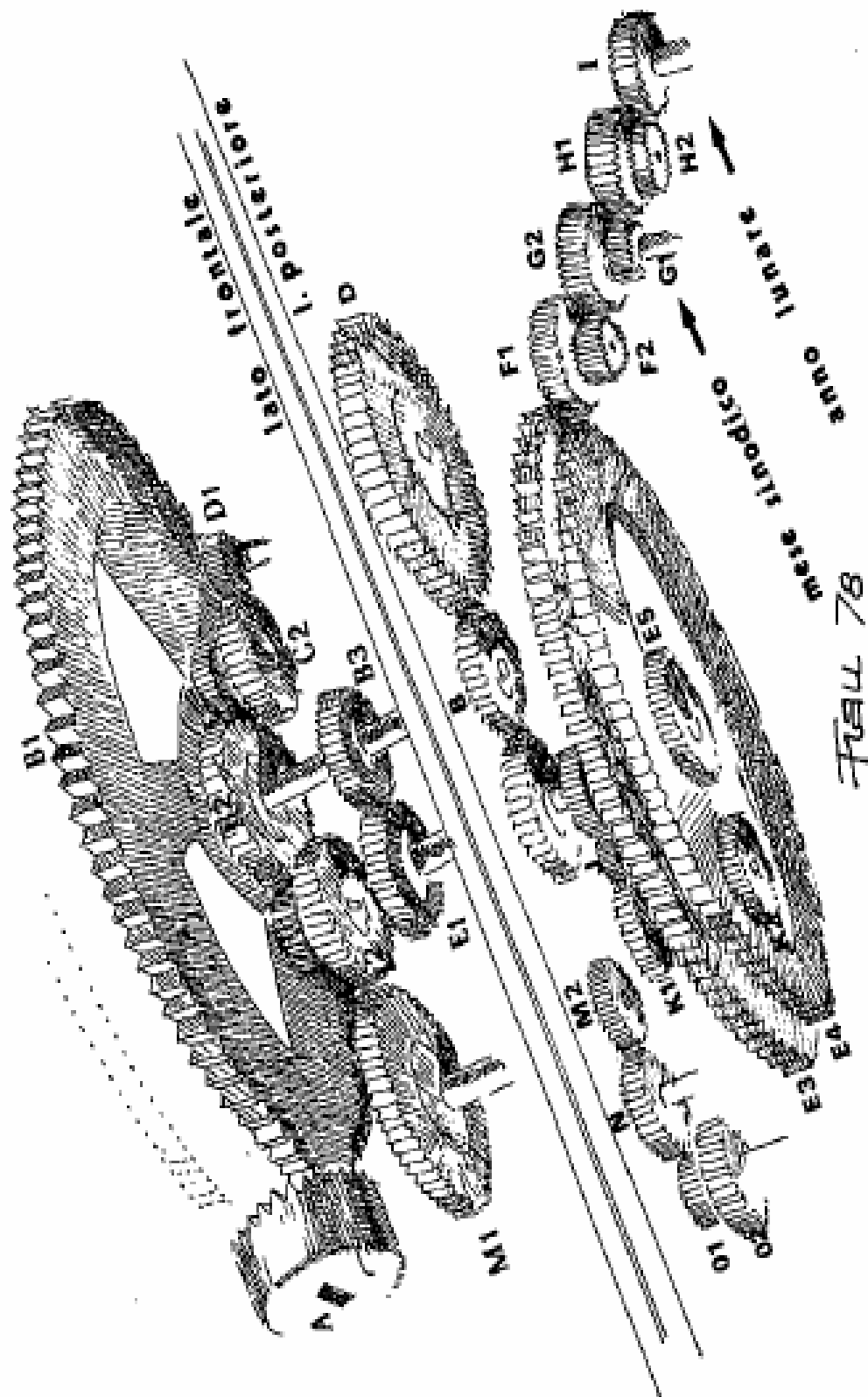
Complessivamente lo spessore dell'intero meccanismo poteva dunque aggirarsi tra i 67 e gli 84 mm.

Gli ingranaggi

A parte gli sportelli (anteriore e posteriore) le lamine contenenti i quadranti erano così utilizzate:

1) quella anteriore (documentata dal frammento C1) con due anelli di diam. int. di mm. 125 ed esterno di mm. 154,4 (aggiungendo un margine di mm. 1,9 per lato si ottiene la larghezza complessiva del quadrante: circa mm. 158) riporta elementi che attengono al ciclo dello zodiaco, precedente in senso orario ed iniziante con la LIBRA al bordo inferiore.

Essa lascia ampio spazio nella parte inferiore, circa mm. 158 x 79, dove parti di iscrizione riportanti un parapegma sono documentate nel frammento C2.



FALL 78

FIGURA 5

MECCANISMO DI ANTICYTHERA
 Ricostruzione del complesso degli ingranaggi

2) quella posteriore con due quadranti: *uno superiore* di mm. 44,3 di raggio, circondato da una serie di anelli, ciascun di ampiezza media mm. 5,92 (che risulta preservato nel frammento B1, B2) ed *uno inferiore* con disco di raggio identico, mm. 44,3, e che risulta in piccola parte sul lato posteriore dello spigolo destro del frammento A.

L'insieme dei due quadranti porta così la altezza della lamina posteriore a circa mm. 305,6. Price propone una lunghezza di 16 pollici con una sporgenza addizionale di circa un quarto di pollice su ogni lato. Il che porterebbe le dimensioni della lamina posteriore a un piede x 1/2 piede (mm. 295 x 147) più i bordi.

3) Le lamine di base per l'assemblaggio degli ingranaggi potrebbero essere state tenute a distanza fra loro e fra le lamine dei quadranti sia da spaziatori metallici sia da supporti laterali in legno.

Su queste lamiere (anteriore e posteriore) era fissato l'insieme di ingranaggi che serviva a muovere gli indici dei quadranti frontali e posteriori.

Tutta la serie di ingranaggi rilevabile è stata analizzata dal Price con la massima accuratezza e sulla scorta di esami radiografici (Fig. 6). A cominciare dall'ingranaggio B1, la più grossa ruota motrice (con una corona di raggio esterno di 63 mm. e raggio interno di mm. 52,5 ed un totale di forse 228 denti) al piccolo ingranaggio E5 (di mm. 13,7 di raggio e 54 denti).

L'esame del Price va principalmente ai rapporti tra i vari ingranaggi ed alla loro funzione nel quadro generale dell'economia della macchina.

Funzionamento del meccanismo

1) Per mezzo dell'*ingranaggio trainante A*, del quale non sappiamo se traesse la sua forza motrice da energia manuale, idraulica o altro, viene trasmesso il movimento a due grossi ingranaggi contrapposti: X e B1 (Fig. 5). Essendo l'ingranaggio B1 collegato direttamente con il quadrante frontale che rappresenta il ciclo zodiacale e la divisione annuale, la sua funzione sembra ovvia.



FIGURA 6

MECCANISMO DI ANTICYTHERA

RADIOGRAFIA DEGLI INGRANAGGI (Foto del Centro Nazionale delle Ricerche Ellenico « Democritus » di Atene)

Per questo motivo il Price propende a credere che l'ingranaggio trainante possa essere stato mosso a mano e ciò porterebbe a ritenere lo strumento un impareggiabile esempio di macchina per uso didattico o dimostrativo confermando quanto s'è precedentemente detto a proposito delle invenzioni più teoriche che pratiche del 3° e 2° sec. a.C.

Una serie di ingranaggi introduce un rapporto approssimativo e complessivo di $254/19$ ($B2/C1 \times C2/D1 \times D2/B4$ che rapportato al numero di denti di ciascun ingranaggio si traduce in $64/38 \times 48/24 \times 127/32 = 254/19$) che crea il presupposto per un movimento riferito al ciclo mensile lunare (Fig. 5):

254 RIVOLUZIONI SIDERALI DELLA LUNA 19 CICLO METONICO

Si ha poi un'altra serie di ingranaggi che introduce un rapporto 1:4 e crea i presupposti per l'indicazione di un ciclo stagionale o di un ciclo quadriennale.

Tracce dell'ingranaggio trainante A sono rilevabili (Fig. 1) sul lato destro dell'ingranaggio principale del frammento A (cioè dell'ingranaggio B1).

Come si è detto la funzione di questo ingranaggio A consisteva probabilmente nel trasmettere all'intero meccanismo un movimento manuale o un movimento automatico (se collegato, ad esempio, ad un orologio anaforico). Esso è formato da un cilindro di mm. 13,9 di raggio, completamente forato da un buco rettangolare di mm. 5,6 x 7,4 (cosicchè l'asse poteva essere fatto ruotare a mezzo di un perno di analoghe dimensioni) e dallo spessore di mm. 7 più altri mm. 2,1 per lo spessore della corona dentata i cui denti hanno distanza fra loro di circa mm. 1,75 (per cui approssimativamente si ha: mm. $13,9 \times 2n = 87,292 : 175 = 50$ denti) che porta a valutare in 45/50 il numero di denti e porta a stabilire in 1:5 il rapporto tra questo ingranaggio e l'ingranaggio principale B1.

2) *L'ingranaggio principale B* è senza dubbio, quello sul quale è maggiormente possibile puntare per un esame più approfondito. E' composto da una corona circolare di 63 mm. di raggio esterno e di 52,5 di raggio interno. E' legato ad un mozzo

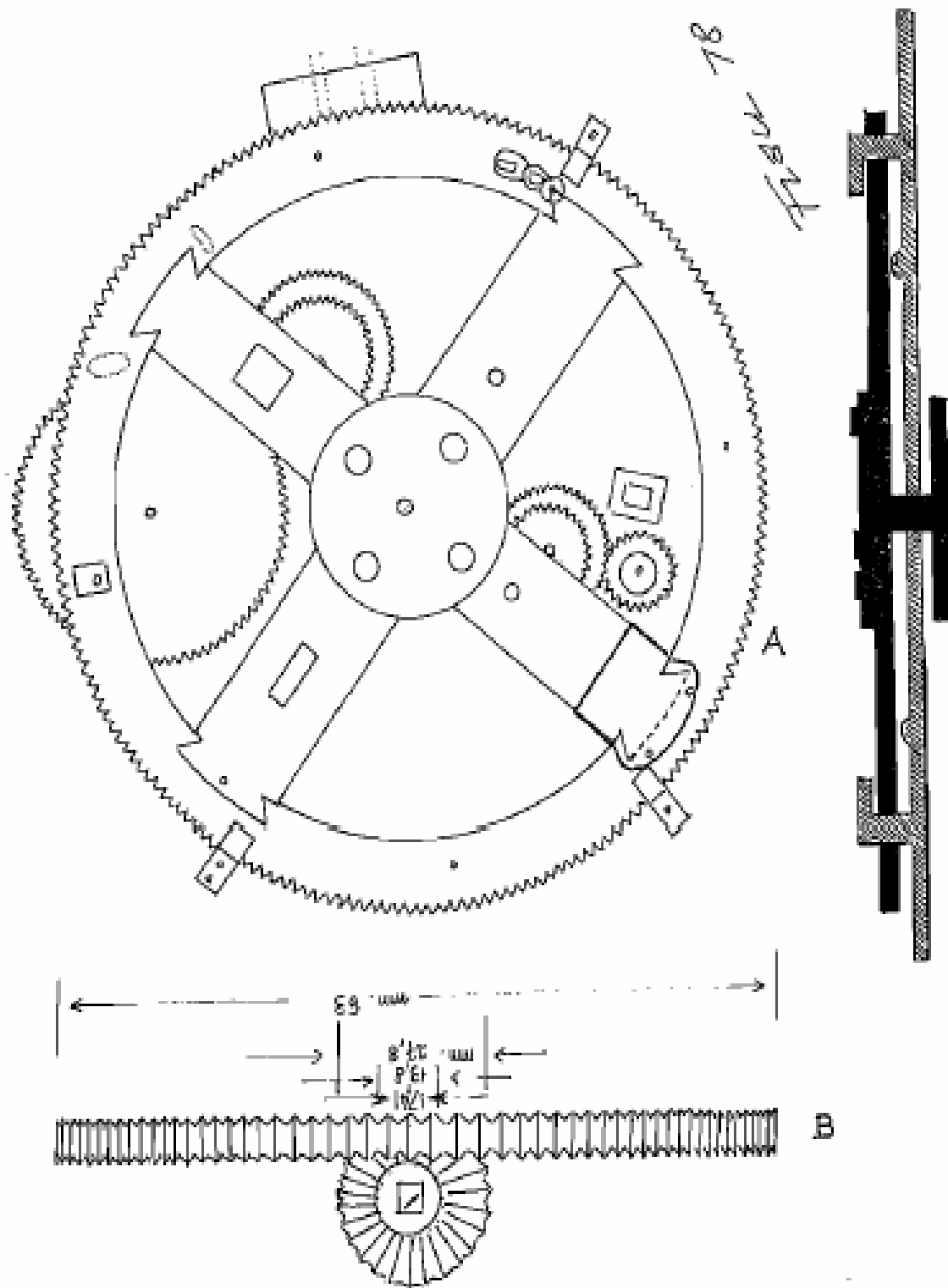


FIGURA 7

MECCANISMO DI ANTICYTHERA

INGRANAGGIO PRINCIPALE B1 (Disegno da foto e da V. De Solin Price in op. cit)

interno avente raggio di mm. 18,2, da quattro raggi fissati sulla corona esterna con incastri a « mortasa », saldati e fissati da ribattini (Fig. 7) e sul mozzo da quattro chiodi ribattuti.

La corona sembra avere 225 denti, in un rapporto, come abbiamo detto di 1:5 con l'ingranaggio trainante.

La larghezza dei raggi è di mm. 15,6 e 17,3 rispettivamente per quelli posti a ore 1 e 7 ed a ore 4 e 10.

Numerose sono le particolarità costruttive di questa ruota motrice:

— il raggio a ore 7 sembra essersi rotto e si rileva una traccia di saldatura a T;

— la ruota era sostenuta ai bordi da un anello sottostante che ne garantiva una costante distanza sul piano e da un serie di alette che la contenevano quasi in un binario.

Altri spaziatori, sedi di perni ecc. fanno anche presumere l'esistenza di una doppia serie di altri ingranaggi ora scomparsi.

3) Il *complesso differenziale*. « Il differenziale — dice Price — è certamente la più spettacolare caratteristica meccanica dell'invenzione di Anticythera per la sua sofisticazione e per la mancanza di ogni precedente storico ».

Dall'ingranaggio trainante A, attraverso la ruota motrice B si arriva con il probabile impiego di quattro identici ingranaggi di 32 denti ognuno (E1, E2, B3, B4) a trasferire ai quadranti posteriori, ma con moto invertito, un movimento annuale ed un altro approssimativamente mensile.

« Sembra — dice Price — che la funzione del differenziale possa essere quella di tenere questi due rapporti di rivoluzione e di comporre l'uno o l'altro con la loro somma o la loro differenza ».

Il differenziale sottraendo le rivoluzioni del sole da quelle della luna produce i cicli dei mesi sinodici.

Lo studio quanto mai complesso delle funzioni degli ingranaggi, tenuto conto delle probabili distanze interassiali, spessori ecc. si inoltra poi nell'esame di quattro costruzioni prodotte da serie di ingranaggi collegati alla ruota motrice B1;

a) B2-L1-L2-M1-M2-N-O1-O2

b) B2-B3-B4-E1-E2i-E2ii-E5-J-E4-K1-K2

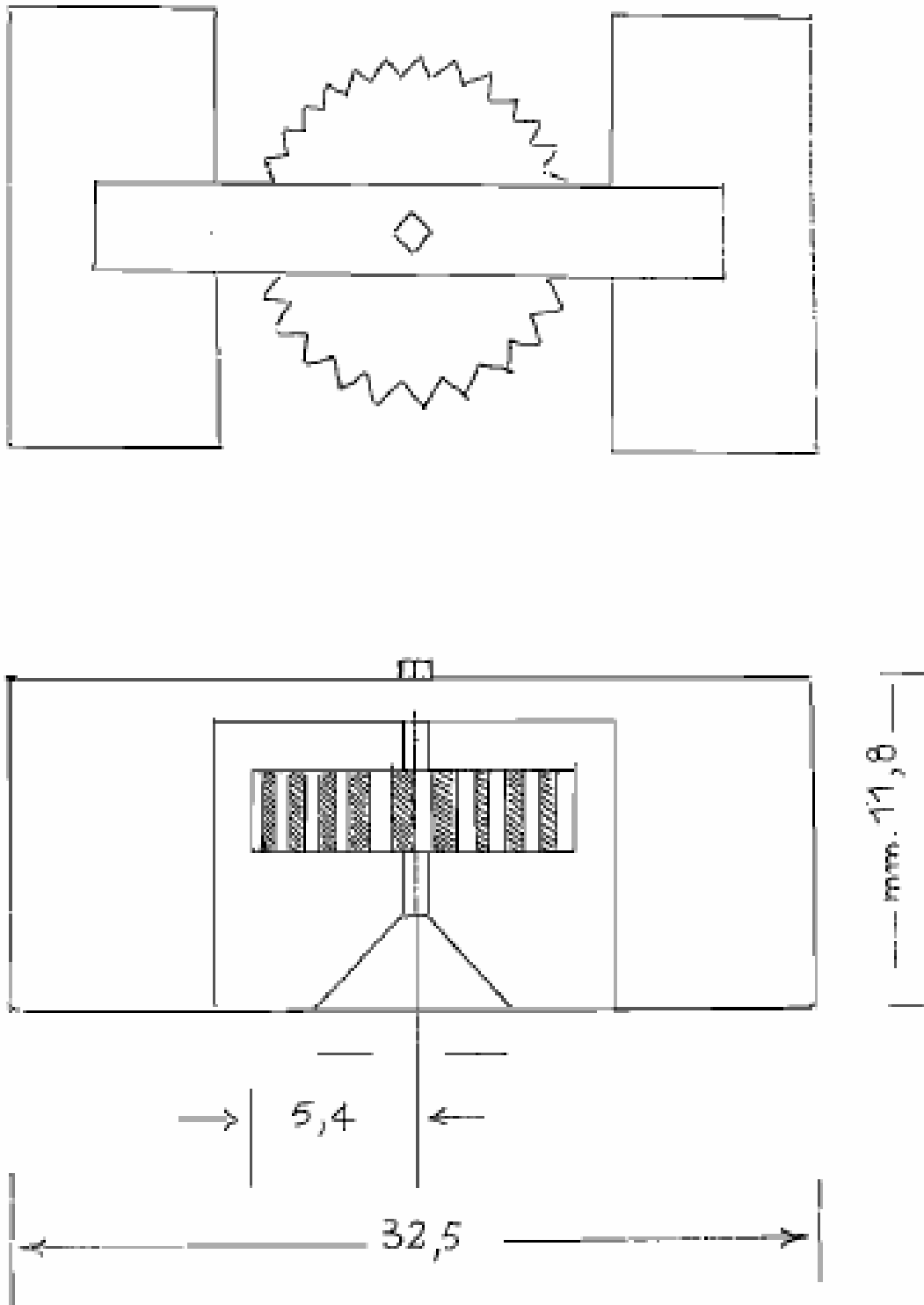


FIGURA 8
 MECCANISMO DI ANTICYTHERA
 Dettaglio di un ingranaggio. Un pignone.

Flau 78

c) B2-C1-C2-D1-D2

d) E4-E3-F1-F2-G2-G1-H1-H2-I

(Fig. 6).

Interessante l'esame delle particolarità costruttive del pignone D1 fissato da due supporti rettangolari collegati da un ponticello (Fig. 8).

Il quadrante frontale

Abbiamo visto come il frammento C documenti la esistenza del quadrante frontale che risulta composto da due fasce anulari centrali al fronte dello strumento, recante settori graduati e parti di vocaboli relativi ai segni dello zodiaco ed ai mesi del calendario greco-egiziano.

I raggi delle fasce anulari sono nell'ordine mm. 77,2 - 70 - 62,5 per cui questi anelli coprono, come abbiamo visto, quasi interamente la larghezza del quadrante frontale.

Rimangono nella parte superiore e nella parte inferiore due margini di circa mm. 158 di larghezza e 79 di altezza che riportano scritte relative al parapegma in circa 14 righe di iscrizione ognuna preceduta da una lettera dell'alfabeto greco.

Un notevole problema ha suscitato il fatto che i segni dello zodiaco non corrispondono nell'altro anello ai mesi corrispondenti del calendario. Si rileva, pur tenuto conto dello scarto annuale dei cinque giorni epagomenali, un divario di circa 120° che non è stato possibile spiegare.

Altra anomalia è quella dovuta al fatto che i segni dello zodiaco sono fatti iniziare con la LIBRA in basso. (Vitruvio per la formazione degli analemmi la prescrive a destra). Viene rispettato il senso orario del procedere e comunque pone gli equinozi sui bordi superiori ed inferiori ed i solstizi a destra e sinistra.

Dunque in basso si legge: CHYLAI (LIBRA) poi SCORPION (SCORPIONE) e prima di CHYLAI (PARTHE)NO(N) (VERGINE).

I quadranti posteriori

La parete posteriore del meccanismo comprende due quadranti aventi ognuno una serie di anelli: il superiore di 4 e l'inferiore di 3 (o forse 4). Gli anelli del quadrante superiore hanno ciascuno una ampiezza media di mm. 5,42 e sono separati dagli altri da una fessura di ampiezza media di mm. 1,35. I raggi esterni di questi anelli sono di mm. 44,3 - 45,8 - 53,0 - 53,8 - 59,1 - 60,4 - 65,9 - 67,7 - 73,4.

Il quadrante inferiore (lo si vede preservato, in parte, alla estremità dello spigolo posteriore destro del frammento principale A) ha raggio interno sempre di mm. 44,3 ed i successivi raggi degli anelli di 45,8 - 52,3 - 53,4, poi un terzo anello e forse anche un quarto.

Sembra che il quadrante superiore consistesse in un disco centrale fisso ed in quattro anelli ruotanti mentre il quadrante inferiore probabilmente disponeva di tre anelli ruotanti e quello esterno fisso.

Tutti e due i quadranti sono in uno stato di forte corrosione o sono sviluppati da spesse concrezioni per cui riesce impossibile identificarne le funzioni, le eventuali scritte o divisioni salvo che nel quadrante inferiore dove in un anello sussidiario sembra rilevarsi una linea di cinque uniformi graduazioni sottese da un arco di 38° (il che darebbe una serie di 47 o 48 graduazioni per l'intero cerchio).

Insufficienti anche alcune brevi iscrizioni rilevate a lato dei quadranti e provocate dallo sportello posteriore che ne ha impresso a rovescio i caratteri.

«...l'intera area — dice Price era coperta da un piano contenente un testo piuttosto lungo, di 47 linee come minimo».

Io ritengo che questo testo si riferisca ad un generale ciclo calendariale il quale è incorporato nel meccanismo ad ingranaggi ed io penso che certamente questo piano deve essere servito da sportello munito di cardini o più probabilmente da due ante con cerniere così da coprire e proteggere il sistema dei quadranti».

Analogie con altri meccanismi

Nel funzionamento di questo meccanismo, Price nota analogie con il planisferio meccanico della Scuola di Posidonio e con quello di Archimede che Cicerone dice di aver visto nella casa di Marcello e nel tempio della Virtù a Roma (11).

In essi era realizzato il movimento del sole, della luna e di questa le varie fasi. Il movimento di Saturno, Giove e Marte, i cicli di Metone, Euctemone e Callippo del V e IV sec. a.C. (12).

Non v'è dubbio che sia nel caso del cosiddetto « Orologio di Archimede » che nel caso del meccanismo di Anticythera il rapporto del numero dei denti degli ingranaggi creava le condizioni per lo sviluppo del ciclo sinodico del movimento lunare, solare e planetario.

Nel mentre Price ritiene che dall'orologio di Anticythera discendano i meccanismi degli orologi islamici (orologio arabo di Abi Bakr del 1221/2 d.C.) (13) (v. appresso) - (disegno arabo di orologio di Al Baruni del 1000 d.C.) io ritengo che questi ultimi derivino essenzialmente dagli orologi anaforici idraulici creati da Ctesibio e descritti da Vitruvio (De Architect. IX, 10). La comparazione tra la ricostruzione da me tentata di quello di Ctesibio ad acqua e l'orologio di Abi Bakr meccanico a me sembra eloquente.

Appare anche evidente quanto diversa sia la matrice degli orologi anaforici idraulici dal meccanismo di Anticythera.

(11) Cicerone ne parla in *De re publica*, I, XIV (21-22) ed anche in *Tusculanae disputationes* I, 63. Ovidio nei *Fasti* VI, 263, 283. Lactantius in *Divinae Institutiones*, II, 518- ecc.

(12) Di Metone e Callippo si è detto (v. nota 8 e 9). Di Euctemone, compagno di Metone nella riforma del calendario si sa che riuscì a mettere in evidenza la variazione di velocità del sole lungo l'eclittica e la diseguale durata delle stagioni. Su questa diseguaglianza è basata gran parte della meccanica idraulica di Ctesibio.

Per quanto riguarda i cicli di rotazione degli astri Vitruvio in *De Architectura*, IX, I riporta i seguenti dati: rotazione Luna: 27 gg. + 1 h — Venere 485 gg. — Mercurio 360 gg. — Marte 83 gg. — Giove 11 anni + 313 gg. — Saturno 29 anni + 160 gg.

(13) ora nel Museo di Storia delle Scienze di Oxford.

In quest'ultimo sembra che l'inventore si sia imposto di realizzare un sincronismo di movimenti luno-solari e forse planetari, in quelli di Ctesibio l'interesse è volto a far rilevare la variazione della durata dei giorni e dei mesi per l'influenza degli equinozi e dei solstizi, in sostanza dei cicli di Euctemone di cui abbiamo detto alla nota n. 12.

Nel meccanismo di Anticythera c'è il gusto di sofisticate complicità di rapporti tra ingranaggi, negli orologi anaforici invece c'è il gusto della scenografia: ruote che si muovono in vaschette tarate sollevano figurine che indicano gli analemmi su colonne girevoli.

Ruote traforate mostrano il passaggio del disco solare attraverso i disegni degli analemmi.

Gli orologi arabi, abbandonata la scenografia idraulica, mantengono tutta la parte essenziale degli orologi anaforici sostituendo al complesso gioco delle acque l'azione di 4 ingranaggi e altrettanti pignoni.

Va inoltre rilevato che nel meccanismo di Anticythera i mesi indicati sono quelli egizi e ciò farebbe propendere per una matrice culturale di scuola alessandrina. Di contro la suddivisione del cerchio delle costellazioni in dodici parti di identica estensione contraddice i dettami di Ipparco e di Gemino sulla diversa durata di tempo dei vari segni. Diversità che troviamo trasferita agli orologi di Ctesibio ed a quelli arabi degli anni 1000/1200.

Appendice

Mi sembra utile riportare alcuni dati tecnici relativi al meccanismo di Anticythera.

Le radiografie effettuate dal Centro Nazionale di Ricerche « Democritos » di Atene hanno permesso di determinare oltre venticinque ingranaggi pressochè invisibili con altri mezzi. Di questi ingranaggi è stato possibile accertare il diametro e la distanza fra i vari denti e di essi il numero dei denti stessi, cosicchè al prof. Price è stato possibile approntare un quadro riepilogativo:

a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
A	45	13,9	C1	38	9,3	E1	32	9,0	K2	48	—
B1	225	63,0	C2	48	10,6	E2	32	9,0			
B2	64	16,4	D1	24	5,4	E3	192	50,2			
B3	32	9,0	D2	127	33,0	E4	222	52,4			
B4	32	9,0	J	64	16,4	E5	48	13,9			

a	b	c	a	b	c	a	b	c
F1	48	13,9	H1	60	—	M1	96	23,3
F2	20	—	H2	15	—	M2	16	—
G1	20	—	L1	36	8,7	O1	32	9,0
G2	60	—	L2	54	13,0	O2	48	13,9
I	60	—	N	64	—	K1	32	9,0

dove, a = ingranaggio

b = n° denti

c = distanza interassiale mm/

L'analisi chimica e spettrografica sulla media dei campioni analizzata dal prof. Cyril S. Smith ha dato i seguenti risultati:
rame princ. comp. — stagno 1 - 10% — piombo 0,3 — arsenico 0,1
— sodio 0,1 — nichel 0,06 — oro 0,06 — ferro 0,05 — antimonio 0,02 — bismuto 0,02.

