

OROLOGI ANAFORICI

Fra le geniali intuizioni degli ingegneri Alessandrini del 3° sec. a.C., gli orologi anaforici di Ctesibio furono senza dubbio meccanismi che acquistarono anche una certa validità pratica.

Ctesibio visse durante i regni del 2° e 3° Tolomeo (285-222 a.C.). Le caratteristiche dei suoi orologi anaforici erano impostate sulle variazioni equinoziali e solstiziali nonché sulla diversa durata delle ore diurne a seconda delle stagioni quali derivavano dalle osservazioni di Euctemone (12), di Aristarco (310-230 a.C. cca) e di Eratostene (284-192 a.C. cca).

Con Eratostene anche la determinazione delle latitudini per mezzo della meridiana divenne regola. E forse accennando alla utilità di dipingere il mondo sul timpano frontale degli orologi anaforici Vitruvio si riferiva quasi certamente all'OIKOUMENE (Il mondo abitato) così come lo rappresentava Eratostene, compreso in un parallelogramma formato da otto paralleli di latitudine e sette meridiani di longitudine (14).

Dell'orologio di Ctesibio (Fig. 9) si hanno varie ricostruzioni, da quelle rinascimentali del Cesariano di Como e dello Heronis Alexandrini *Spiritualium Liber* di Urbino del 1525 a quelle dell'Usher non sempre convincenti. In alcuni di questi orologi si intuisce l'impiego di « viti senza fine », quelle che Vitruvio chiama « *regulae* » giranti congiuntamente all'ingranaggio orizzontale del tamburo galleggiante.

(14) B. Farrington: « Storia della scienza greca » 1953: « i meridiani vennero determinati per mezzo di calcoli di posizione di navi ».

(15) Vitruvio: « De Arch. Libri » lib. IX cap. IX.

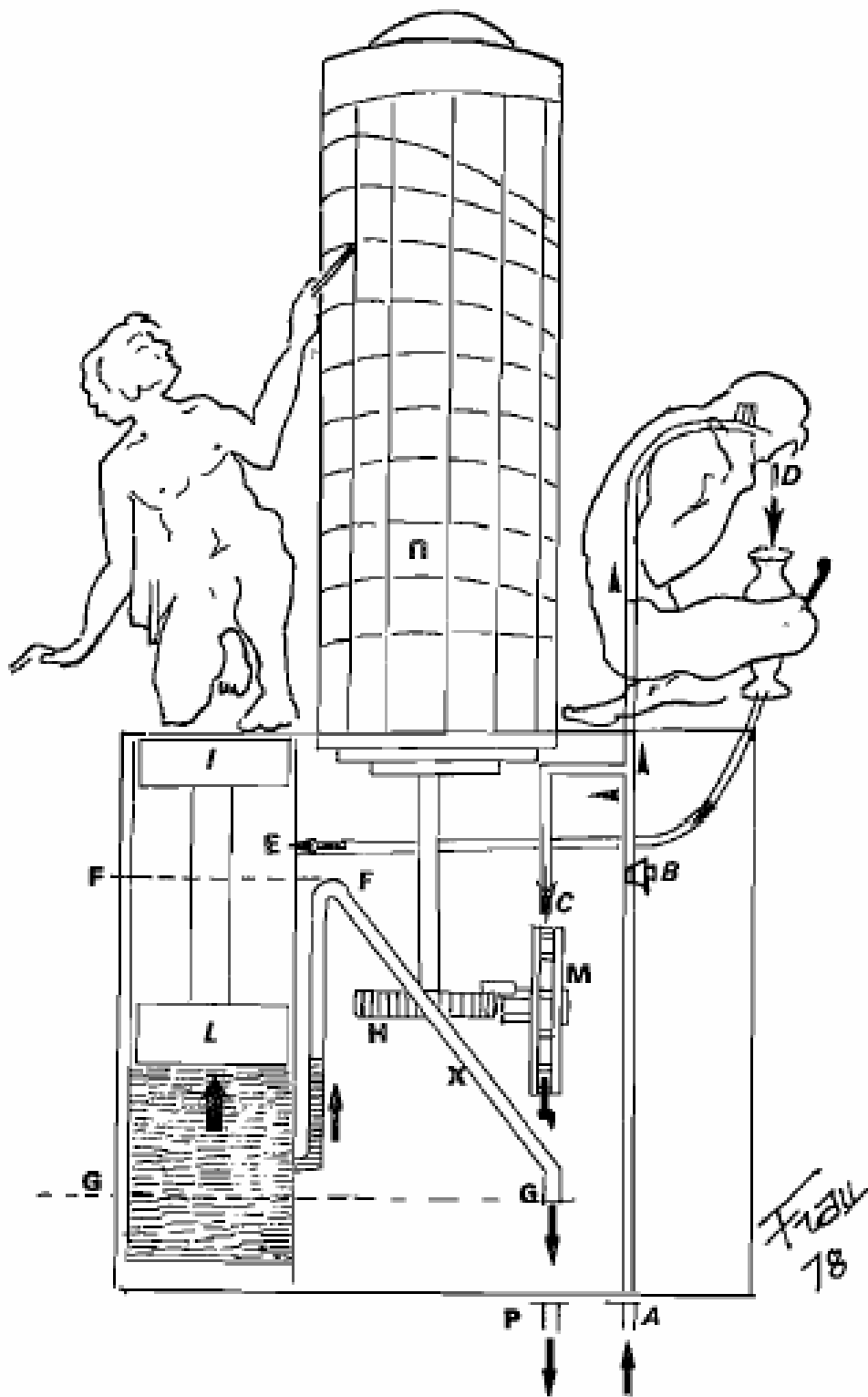


FIGURA 9

UN OROLOGIO DI CTESIBIO
(Ricostruzione secondo Usher)

Ma Vitruvio descrive anche un altro orologio anaforico che pur non attribuito a Ctesibio (nè poteva esserlo per la più avanzata tecnologia impiegata), da esso certamente deriva (Fig. 11).

Fra i due orologi esiste, come abbiamo detto, un divario tecnologico di quasi due secoli. Questo di Vitruvio assomma alle esperienze della Scuola Alessandrina quelle che derivarono dalla conoscenza delle teorie di Ipparco (16) e dalla codificazione che di esse ne fece Gemino (17), discepolo di Posidonio da Rodi (18), nella sua opera « Introduzione alla Astronomia » in cui vengono non solo precisati i tempi degli equinozi e dei tropici (Fig. 12), il corso del sole e degli stessi pianeti attraverso il cerchio zodiacale, ma di queste osservazioni viene fornita anche convincente spiegazione tecnica — pur nella errata concezione geocentrica dell'universo.

È non solo gli orologi anaforici si ispiravano alle leggi di Euctemone. Dice Vitruvio che prima dell'avvento degli orologi anaforici molti erano gli orologi solari conosciuti (19) « e dai libri dei costruttori potrebbe trovarne le induzioni chi conosca i disegni degli ANALEMMI ». Affermava in sostanza che tutti erano da ricondurre alle leggi di Euctemone.

Ora, prima della descrizione dell'orologio anaforico mi sembra opportuno trattare le regole per la costruzione degli analemmi ed il calendario di Gemino.

(16) m. intorno al 125 a.C. La cosiddetta teoria degli eccentrici per cui si determinava l'eccentricità del cerchio solare rispetto alla terra.

(17) vissuto verso il 70 a.C. Codificando la teoria degli eccentrici di Ipparco stabilì l'esatta durata del tempo compreso fra i tropici e gli equinozi.

(18) Fu maestro di Gemino. Alla sua scuola Cicerone attribuì la costruzione del planisferio meccanico visto in casa di Marcello.

(19) Vitruvio — De Arch. libri — lib. IX — cap. VIII li elenca: L'emisfero scavato in un cubo ed intagliato in curva che dicesi inventato da Beroso Caldeo, lo Scafo o Emisfero inventato da Aristarco da Samo (Fig. 12), il disco in piano sempre di Aristarco da Samo, la Ragna di Eudosso o di Apollonio. Il panthelium o Lacunare posto anche nel Circo Flaminio inventato da Scopinas siracusano. Gli orologi istoriati di Parmentio e così via.

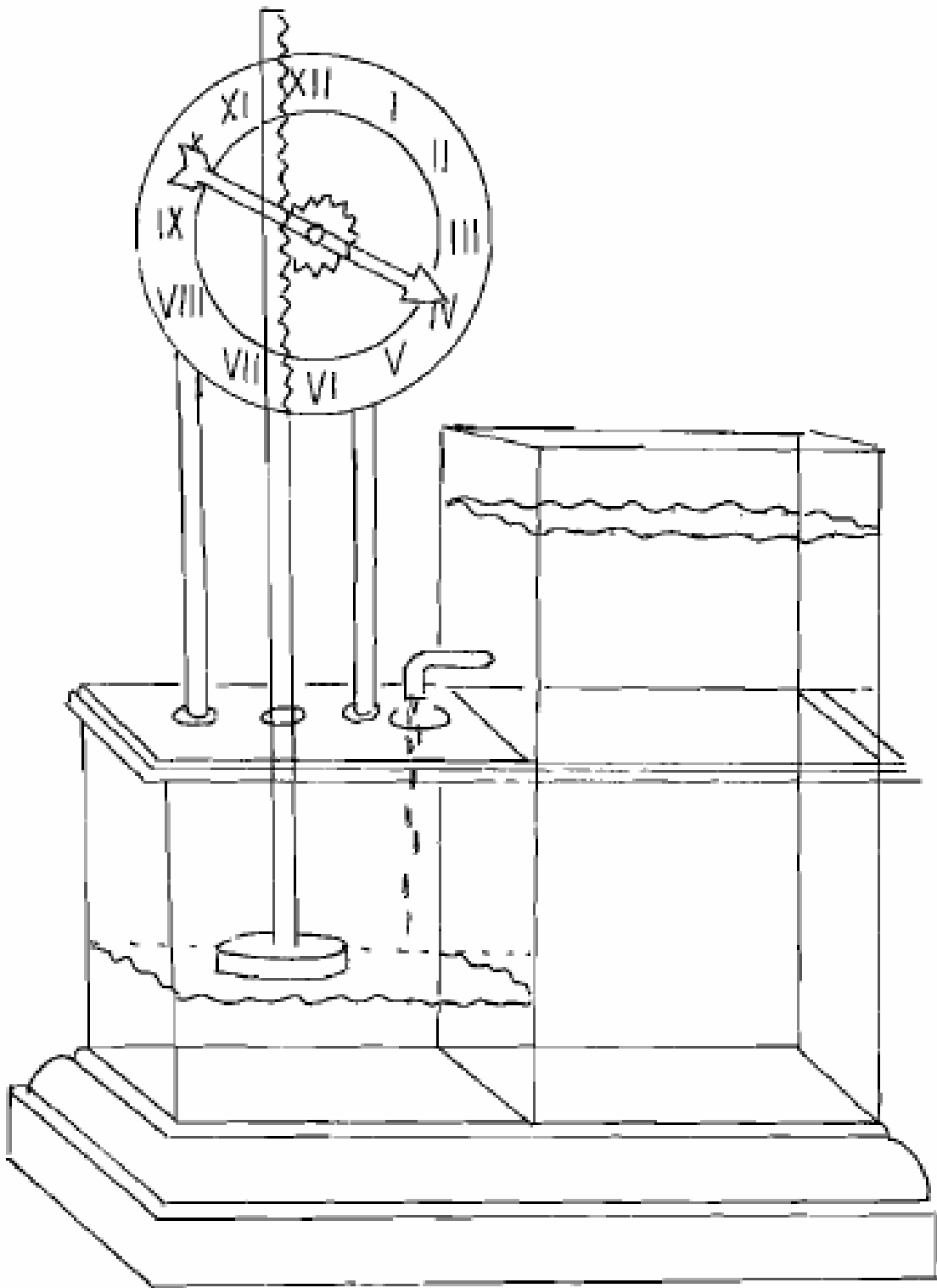


FIGURA 10

UN OROLOGIO DI CTESIBIO

(da Heronis Alexandrini Spirituum liber - Urbino 1525)

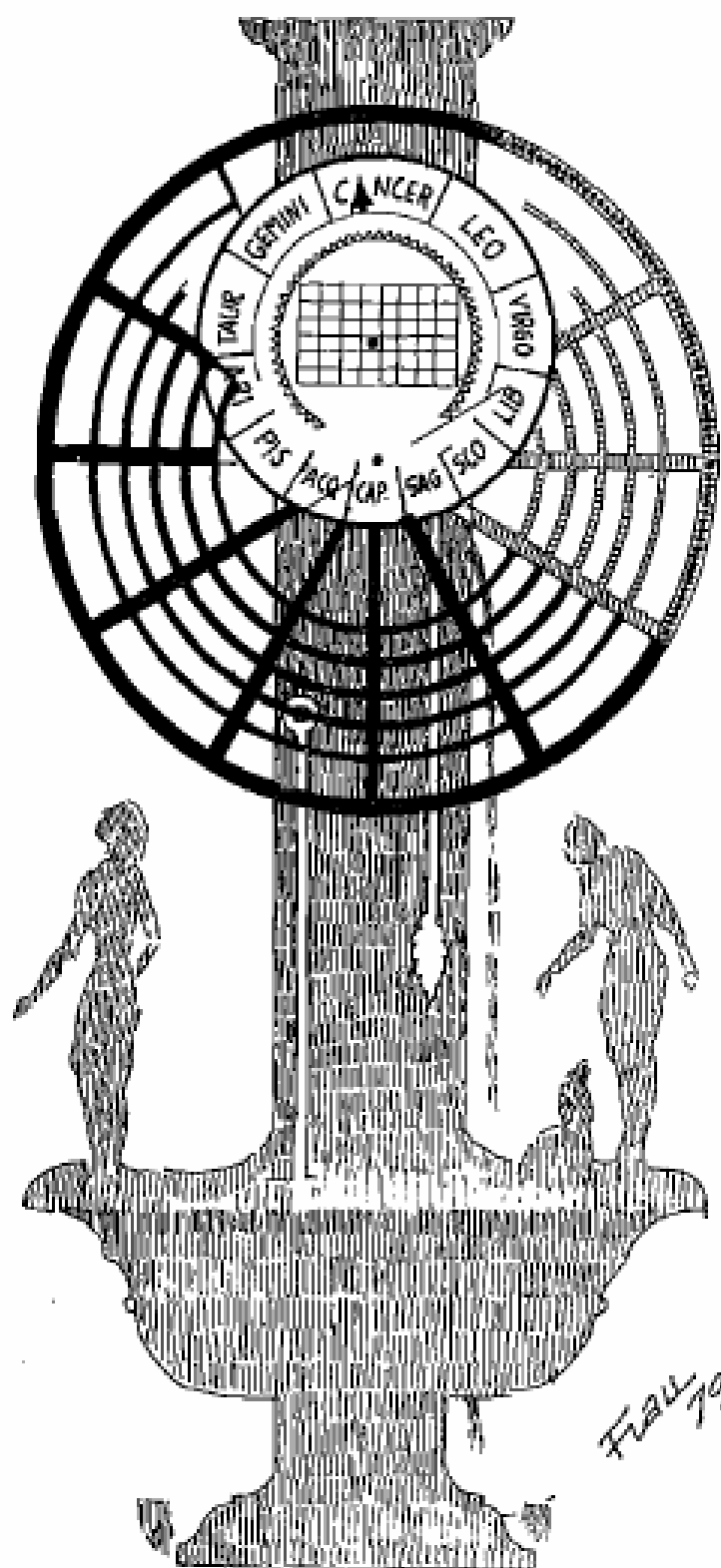
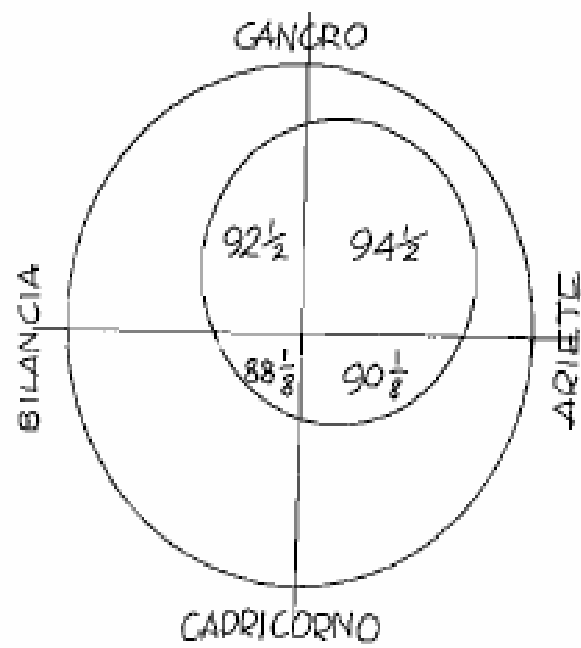
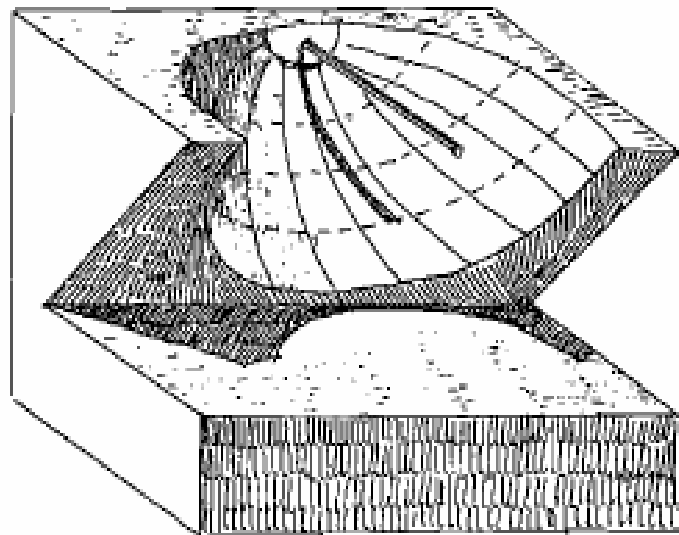


FIGURA II
L'OROLOGIO ANAFORICO DESCRITTO DA VITRUVIO
(De Arch. Lib. IX,8)



A



B

FIGURA 12

A) I TEMPI DELLO ZODIACO SECONDO GEMINO
 B) «LO SCAFO» DI ARISTARCO DA SAMO

GLI ANALEMMI

Debbo subito premettere che le difficoltà incontrate per tradurre in immagini la descrizione degli analemmi sono risultate accentuate da una traduzione alquanto contrastata dalla natura tecnica della trattazione (20).

Oltre che della variabilità del corso zodiacale, la formazione degli analemmi, come abbiamo visto, tiene conto delle variazioni delle ore diurne in rapporto al periodo stagionale.

Gli astronomi greci riuscirono molto bene a complicare i calcoli calendariali dividendo le ore della giornata in diurne e notturne, e non già di uguale durata. A Roma le ore diurne, calcolate dal sorgere al tramonto del sole, ripartite in 12 horae avevano in estate una durata effettiva di 15 ore e 5'. Nel periodo invernale poco meno di 9 ore. Ogni ora estiva aveva la durata, se diurna, di un'ora e 15' o 16'. Se notturna di 44' o 45'. E viceversa ogni ora invernale. L'HORA I in estate iniziava alle 4,27 e la XII alle 19,33 mentre in inverno l'HORA I iniziava alle 7,33 e la XII alle 16,27 (Fig. 13).

Ma veniamo alle regole per la costruzione degli ANALEMMI secondo Vitruvio (Fig. 14).

Nel tempo dell'equinozio, quando il sole si trova nella costellazione dell'Ariete e della Bilancia, l'ombra dello gnomone misura 8/9 dell'altezza dello gnomone stesso. Ciò tuttavia avvie-

(20) E' stata utilizzata la traduzione di Ugo Fleres della Collezione Romana diretta da Ettore Romagnoli — 1933, molto carente e la traduzione di G. Florian, edita da Giardini — Pisa — 1978.

HIEMS		VER		AESTAS		AUTUMN.		HORA	VIGIL.
21 MARS		22 JUNIUS		23 SEPT.		21 DECEM			
min		min		min		min			
115	1	044	1	129	1	1	VII	III	
231	2	129	2	213	2	2	VIII		
346	3	213	3	258	3	3	IX		
502	4	302	4	342	4	4	X	IV	
617	5	427	5	437	5	5	XI		
733	6	541	6	541	6	6	XII		
817	7	658	7	658	7	7	I		
911	8	813	8	813	8	8	II		
946	9	929	9	929	9	9	III		
1031	10	1044	10	1044	10	10	IV		
1115	11	12	11	12	11	11	V		
1244	12	12	12	12	12	12	VI		
1329	13	135	13	135	13	13	VII	I	
1413	14	1431	14	1431	14	14	VIII		
1458	15	1545	15	1545	15	15	IX		
1542	16	1702	16	1702	16	16	X		
1627	17	1817	17	1817	17	17	XI		
1742	18	1933	18	1933	18	18	XII		
1858	19	2047	19	2047	19	19	I	II	
2013	20	2111	20	2111	20	20	II		
2129	21	2146	21	2146	21	21	III		
2244	22	2251	22	2251	22	22	IV		
	23	2315	23	2315	23	23	V		
	24	24	24	24	24	24	VI		

FRAN
78

FIGURA 15
LA DIVISIONE DEL TEMPO PRESSO I ROMANI

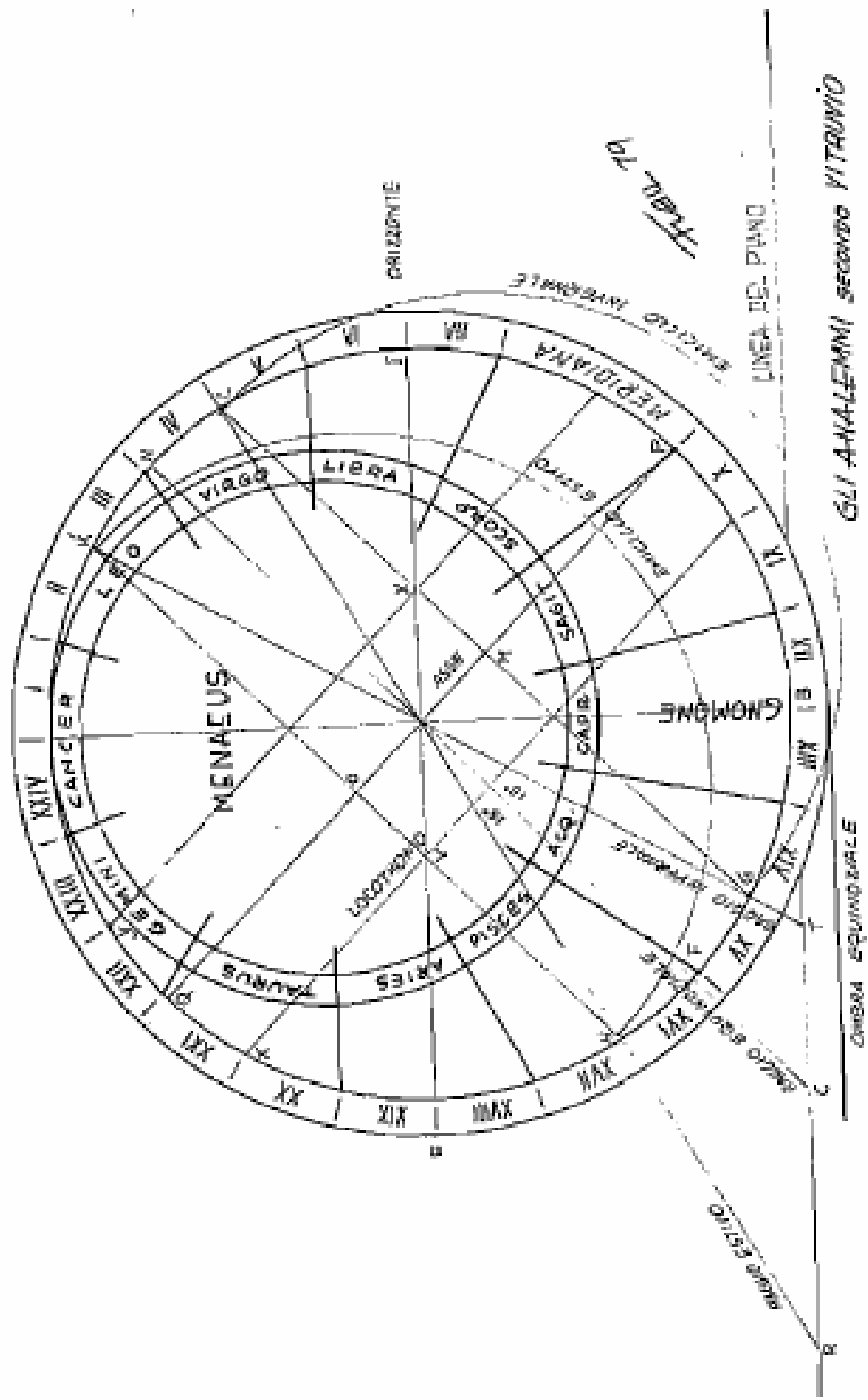


FIGURA 14
 LA COSTRUZIONE DEGLI ANALEMMI PRESSO VITRUVIO
 (De Arch. Lib. IX,8)

ne soltanto alla latitudine di Roma; se la misurazione si facesse ad Atene, l'ombra misurerebbe $3/4$ dello gnomone, a Rodi $5/7$, a Taranto $9/11$, ad Alessandria $3/5$. E così di luogo in luogo, l'ombra equinoziale dello gnomone è di volta in volta diversa alle varie latitudini.

Dovendo disegnare dunque un orologio, in qualsiasi luogo ci si trovi, si dovrà sempre determinare la lunghezza dello gnomone all'equinozio. Supponiamo di essere a Roma: l'ombra sarà uguale a $8/9$ dello gnomone. Si tracci allora una linea su di un piano: dalla metà di essa si innalzi una seconda linea perpendicolare che chiameremo « gnomone ». Partendo dalla linea di base riportiamo con il compasso per nove volte una stessa misura sullo gnomone; il punto estremo della nona parte indicherà il centro in A. Allargato il compasso da A fino al punto di intersezione B fra la linea dello gnomone e quella di base, descriviamo una circonferenza, che chiameremo « meridiana ».

Prendiamo poi una misura pari a otto delle nove parti in cui abbiamo diviso la distanza AB e riportiamola sulla linea di base, segnando il segmento BC, che indicherà la lunghezza dell'ombra equinoziale dello gnomone. Partendo da C tracciamo quindi una linea passante per il centro A: essa rappresenterà un raggio del sole all'equinozio. Adoperando il compasso con un'apertura pari alla distanza AB, individuiamo sulla circonferenza i punti E alla sinistra del centro e I alla destra, equidistanti dalla linea di base. Tracciamo quindi il diametro EI, che dividerà il cerchio in due semicerchi uguali. Questo diametro viene dai matematici definito « ORIZZONTE ».

Aperto il compasso di una misura uguale a $1/15$ della circonferenza, puntando nel punto di intersezione F fra la linea del raggio equinoziale e la circonferenza stessa, segniamo su questa ultima, da una parte e dall'altra, i punti G e H. Da essi e passando per il centro, tracciamo due linee, prolungandole fino ad incontrare la linea di base nei punti T ed R. Essi indicheranno la posizione del raggio solare rispettivamente nel solstizio invernale e in quello estivo. Allora abbiamo di fronte ad E, all'estremo opposto del diametro chiamato orizzonte, il punto I; in questa zona troviamo anche Y K L G; di fronte a K i punti indicati dalle lettere K H X L; di fronte a C.F.A. il punto N (questa parte della descrizione risulta lacunosa ed imprecisa).

Tracciamo quindi le corde *GL* e *HK*. Quella superiore (*GL*) determinerà la zona dell'estate, quella inferiore (*HK*) la zona dell'inverno. Quindi si procede individuando il punto mediano di ciascuna delle due corde. Attraverso questi due punti, che chiameremo *O* ed *M*, facciamo passare una linea, prolungandola fino ad intersecare la circonferenza nei punti *Q* e *P*.

Questa linea, perpendicolare al raggio equinoziale, è chiamata in matematica *ASSE* o *Axon*. Puntando il compasso prima in *M* e poi in *O* con un'apertura pari a metà delle due corde descriviamo due semicerchi, uno per l'estate e l'altro per l'inverno.

Indichiamo con le lettere *S* e *V* i punti di intersezione, a destra ed a sinistra, delle due parallele *LG* e *KH* con la linea dell'orizzonte. Quindi passando per *X* (precedentemente questo punto era stato indicato come *S*) conduciamo la parallela all'asse, che incontrerà la semicirconferenza opposta nel punto *Y*; analogamente passando per *V* conduciamo un'altra parallela che incontrerà la semicirconferenza alla sua sinistra nel punto *X*. (Ovviamente a questo punto è da confermare la lettera *S* giacente sulla parallela all'asse *Y*) Quest'ultima linea prenderà il nome di *LAEOTOMUS* (in altra traduzione leggo *LOCOTOMUS*) o « corda del cerchio ». Puntando quindi il compasso nel punto di intersezione *D* fra il raggio equinoziale e la circonferenza (il punto *D* non è mai apparso finora e del resto il punto di incontro fra raggio equinoziale e circonferenza è già stato indicato in *F*), con apertura da *D* ad *H* (punto di intersezione fra la circonferenza ed il raggio estivo). (Se si attuasse questa indicazione il circolo dei mesi sarebbe talmente piccolo da non poterci assolutamente costruire il *Manaeus*. Del resto non avrebbe senso aver predisposto tutta una laboriosa costruzione per poi utilizzare soltanto i punti *F* ed *H* per ottenere gli elementi atti alla costruzione del Cerchio *Manaeus*. Ovviamente l'errore sta nell'attribuire a *D* il punto già occupato da *H*. Io ritengo quindi che il punto *D* debba essere collocato all'incrocio tra il raggio equinoziale ed il *LAEOTOMUS*. In questo modo si realizzerebbe il *MANAEUS* in misura tra l'altro corrispondente a quella rilevabile sull'orologio arabo di *Abi Bakr*).

Costruiamo quel cerchio che è chiamato Manaeus o « cerchio dei mesi ». E così avremo completato il disegno degli analemmi.

Spiegato dunque il procedimento per la realizzazione degli analemmi, bisognerà tracciare le linee delle ore in rapporto alle linee invernali, a quelle estive ed anche a quelle dei mesi, in relazione alla figura dell'analemma.

Completata dunque con questa tecnica la descrizione dell'analemma, vi si potranno costruire al di sopra i tipi più diversi di orologio. Tutte le figure di analemmi, comunque disegnate, daranno sempre questo stesso risultato: la divisione in dodici parti uguali del giorno, sia nei solstizi sia negli equinozi.

Sul circolo dei mesi — Manaeus — convergendo le proiezioni delle zone zodiacali e delle ore si realizzeranno quindi le variazioni equinoziali, solstiziali ed orarie.

LA TEORIA DEGLI ECCENTRICI

Ad un risultato ancora più rigorosamente scientifico giunge Gemino come risulta dal seguente passo tratto dalla sua « INTRODUZIONE ALLA ASTRONOMIA »:

Ora, se il sole si muovesse alla stessa distanza delle stelle che formano i segni dello zodiaco, troveremo allora certamente uguali l'uno all'altro i segni intercorrenti fra i tropici e gli equinozi. Muovendosi a velocità uniforme, il sole deve percorrere archi uguali in tempi uguali. Similmente supponendo che il sole sia più basso del cerchio dello zodiaco ma si muova intorno allo stesso centro del cerchio dello zodiaco, allora anche i tempi fra i tropici e gli equinozi sarebbero uguali. Tutti i centri descritti intorno allo stesso centro sono divisi in modo simile dai loro diametri. Giacchè il cerchio zodiacale è diviso in quattro parti uguali dai diametri che si stendono tra i punti tropicali e quelli equinoziali, necessariamente anche il cerchio del sole sarebbe diviso in quattro parti uguali dagli stessi diametri. Muovendosi così a velocità uniforme nella sua propria sfera, uguali verrebbero ad essere i tempi in cui esso percorre i singoli quarti. Ma in realtà il sole non solo non si muove lungo un cerchio più basso ma anche lungo un cerchio eccentrico rispetto a quello zodiacale. Il centro del cerchio non è lo stesso di quello del cerchio zodiacale ma spostato da una parte. A motivo di questa posizione il corso del sole risulta diviso in quattro parti ineguali (Fig. 12/A). La parte maggiore della sua circonferenza si trova al disotto del quarto del cerchio zodiacale che va dal primo grado del MONTONE al trentesimo grado dei GEMELLI; la parte minore al di sotto del quarto del cerchio zodiacale che va dal primo grado della BILANCIA al trentesimo grado del SAGITTARIO.

E' naturale perciò che il sole muovendosi a velocità uniforme lungo il proprio cerchio, percorra archi ineguali in tempi

inequali, gli archi più lunghi nei tempi più lunghi, i più brevi nei più brevi.

Quando attraversa l'arco più lungo del proprio cerchio, passa allora il quarto dello zodiaco dell'equinozio d'autunno al tropico d'inverno. Poichè archi ineguali del cerchio solare sottostanno ad archi uguali del cerchio zodiacale è inevitabile che i tempi fra i tropici e gli equinozi siano ineguali, e che il tempo più grande sia quello che va dall'equinozio di primavera al tropico d'estate, e il più corto quello che va dall'equinozio d'autunno al tropico d'inverno. Il sole perciò si muove sempre a velocità uniforme ma a causa dell'eccentricità del suo cerchio attraversa i quattro quarti dello zodiaco in tempi ineguali.

In altro punto della dissertazione spiega:

Il tempo compreso fra i tropici e gli equinozi è diviso nel modo seguente. Dall'equinozio di primavera al tropico d'estate 94 giorni e mezzo. Questo è il numero dei giorni in cui il sole attraversa il MONTONE, IL TORO e I GEMELLI e arrivando al primo grado del GRANCHIO genera il tropico d'estate. Dal tropico d'estate all'equinozio d'autunno 92 giorni e mezzo. Questo è il numero dei giorni in cui il sole attraversa il GRANCHIO, IL LEONE e la VERGINE e arrivando al primo grado della BILANCIA genera l'equinozio d'autunno. Dall'equinozio d'autunno al tropico d'inverno 88 giorni e $1/8$. Questo è il numero di giorni in cui il sole attraversa LA BILANCIA, LO SCORPIONE ed il SAGITTARIO e arrivando al primo grado del CAPRICORNO genera il tropico d'inverno. Dal tropico d'inverno all'equinozio di primavera 90 giorni e $1/8$. Poichè questo è il numero di giorni in cui il sole attraversa i tre restanti segni dello zodiaco, IL CAPRICORNO, L'ACQUARIO e i PESCI. Il totale dei giorni compresi in tutti e quattro questi periodi è 365, che è il numero dei giorni che troviamo nell'anno.

L'OROLOGIO ANAFORICO

In questo orologio, come si è detto, sono concentrate numerose geniali intuizioni tecniche, da Ctesibio a Vitruvio nonché le conoscenze astronomiche e calendariarie degli ultimi tre secoli.

Tutto il meccanismo è impostato sulla variazione di rotazione prodotta ad un timpano per la fuoriuscita laterale di acqua dal suo interno.

Un tamburo ruotante su un asse, pieno d'acqua, munito di un foro laterale per l'uscita dell'acqua gira tanto più velocemente quanto più il foro, nella rotazione del tamburo si avvicina al punto morto inferiore (Fig. 15).

Rimarrebbe a questo punto il tamburo in posizione statica se non intervenissero due elementi frutto anche di essi di intuizioni geniali:

— una catena flessibile avvolta attorno al tamburo girevole munita da un lato di un peso zavorrato e dall'altro di un galleggiante che ricorda senza dubbio la funzione del volano nei nostri motori a scoppio. L'acqua infatti scendendo in gran copia, quando il foro trovasi al punto morto inferiore, aumenta il livello dell'acqua nella vasca e provoca il sollevamento del galleggiante con la conseguente discesa del peso-zavorra permettendo al tamburo di proseguire nella rotazione ed al foro di risalire.

— Altro elemento è la concatenazione di due tamburi di cui « uno minore incluso nel timpano maggiore mediante cardini torniti maschi e femmine, stretti in modo che il timpano minore volgendo intorno come una girella nel maggiore, giri piano piano con arte ».

Quello maggiore esterno, fisso, fornisce al minore girevole l'acqua che riceve da un serbatoio posteriore (Fig. 16).

Dosando opportunamente il foro di scarico della vasca si ottiene una rotazione annua del tamburo interno con le relative variazioni solstiziali, equinoziali ed orarie.

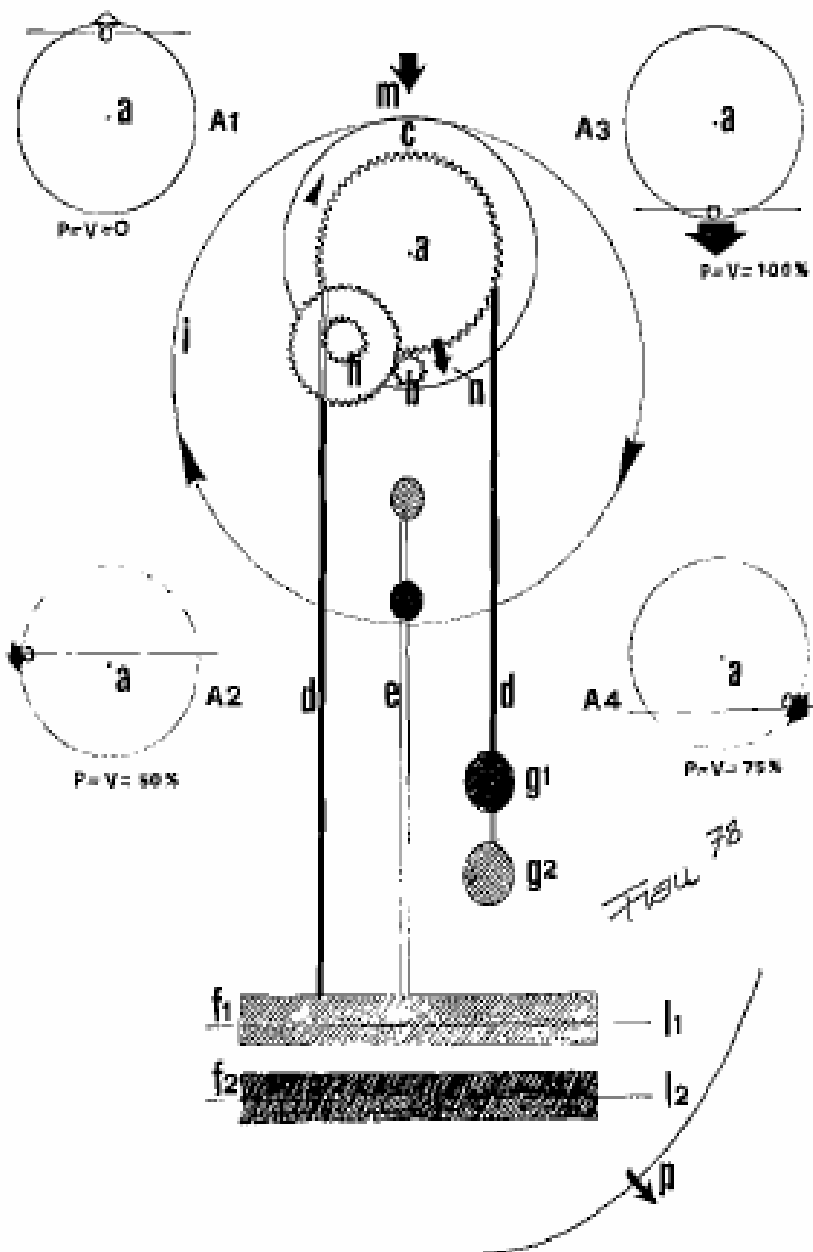


FIGURA 15

SISTEMA DI FUNZIONAMENTO DELL'OROLOGIO ANAFORICO DI VITRUVIO

P = PESO DELL'ACQUA SUL FORO DI USCITA

V = VELOCITA' DI ROTAZIONE DEL TAMBURO

A1 — FORO DI USCITA AL CANCRO A2 — FORO DI USCITA AL TORO

A3 — FORO DI USCITA AL CAPRICORNO

A4 — FORO DI USCITA ALLO SCORPIONE

a — asse tamburo rotante

b — asse cerchio delle ore

c — tamburo fisso circolo zodiacale d — cavo flessibile e — asta con «bulla»

f1 — galleggiante al cancro f2 — galleggiante al sagittario g1 — contrappeso al cancro

g2 — contrappeso al sagittario h — ingranaggi i — cerchio esterno delle ore

h1 — livello acqua nella vasca al cancro h2 — livello acqua nella vasca al sagittario

m — foro posteriore immissione acqua n — foro uscita acqua dal tamburo rotante

p — foro tarato uscita acqua dalla vasca

Una « bulla » situata nel galleggiante, alzandosi insieme ad esso nel periodo di massima uscita dell'acqua, ossia all'epoca del Capricorno, coincide con le linee orarie dell'emiciclo invernale e segna il corso delle ore che sono fissate sul prospetto del tamburo ruotante e sovrapposto al « circolo dei mesi ».

Il movimento annuale del tamburo ruotante veniva trasformato in movimento giornaliero, è da supporre, con l'impiego di più ingranaggi (forse quattro) aventi caratteristiche che potrebbero ricordare il meccanismo dell'orologio calendariale arabo di Al-Biruni del 1000 d.C.

Prima di passare alla descrizione di Vitruvio non è inopportuno far rilevare le analogie fra questo orologio e quello arabo di Abi Bakr del 1221/2 attualmente al Museo di Storia delle Scienze di Oxford. In esso sono visibili, nel cerchio interno, disposto secondo le regole di Gemino, la ripartizione dei segni zodiacali con il CANCRO in alto di ampiezza maggiore del CAPRICORNO in basso. E' rilevabile la linea equinoziale, e gli emicicli estivo ed invernale nonché l'indicazione dei giorni sul bordo del cerchio esterno (Fig. 17).

Si fan pure orologi invernali di altro genere, che si dicono Anaforici e si eseguono con le regole seguenti:

Si dispongano le ore per mezzo di verghette di bronzo sul disegno degli analemmi, dal centro, sul prospetto nel quale dei circoli concentrici delimitano la lunghezza dei mesi. Dietro le verghette, un timpano su cui è disegnato e dipinto il mondo e il circolo signifero. Facciasi la figura de dodici segni celesti, uno dei quali, al centro, sia rappresentato maggiore, minore ad un altro. Al rovescio del timpano, in mezzo, è incluso un asse girevole, sul quale è avvolta una catena flessibile, donde da una parte pende un sughero, ossia timpano, galleggiante sull'acqua, dall'altra pende un contrappeso di zavorra. Così, quanto il sughero si solleva sull'acqua, tanto il peso della zavorra, tirando in giù, fa girar l'asse, e l'asse il timpano. La rotazione del timpano stesso fa che una parte del circolo signifero, sia maggiore, sia minore, designi le particolarità delle ore secondo le stagioni.

Perciò nei singoli segni vengono fatti tanti fori quanti sono i giorni dei relativi mesi; e la bulla che negli orologi figura il sole, indica la lunghezza delle ore, e trasferendosi da un foro all'altro del mese corrente compie il suo corso.

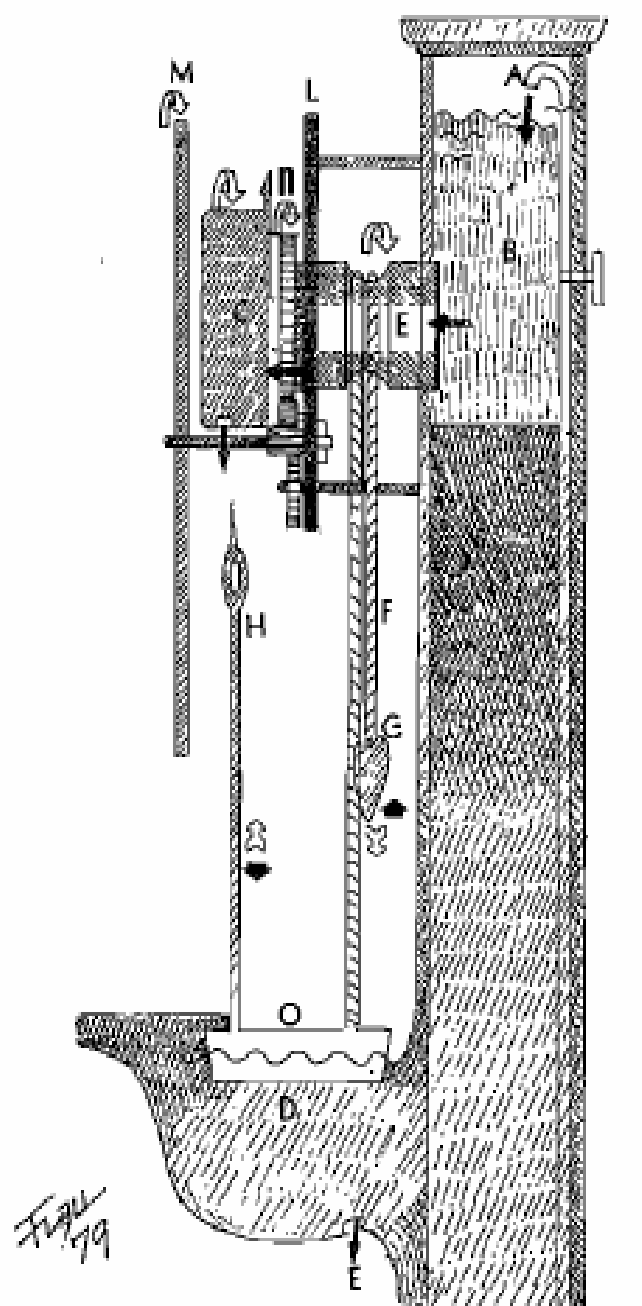


FIGURA 16

MECCANISMO DELL'OROLOGIO ANAFORICO DI VITRUVIO

A — RUBINETTO IMMISSIONE ACQUA NEL SERBATOIO PRINCIPALE

B — SERBATOIO PRINCIPALE C — SERBATOIO SECONDARIO ROTANTE

D — VASCA E — FORO TARATO USCITA ACQUA DALLA VASCA

F — CAVO FLESSIBILE G — CONTRAPPESO

H — ASTA CON «BULLA» L — CIRCOLO SIGNIFERO FISSO

M — RUOTA CON RAGGI ORARI, CIRCOLI EQUINOZIALI ESTIVI ED INVERNALI

N — INGRANAGGI O — GALLEGGIANTE

In tal guisa, come traverso gli spazi sideri errando il sole dilata e restringe i giorni e le ore, così negli orologi la bulla entrando per la punta contro la rotazione del centro del timpano, si trasferisce giorno per giorno, in alcuni tempi attraverso spazi più larghi, in altri traverso più angusti e produce con le delimitazioni mensili le immagini delle ore e dei giorni.

Abbiamo visto come i tempi orari siano realizzabili per mezzo di almeno quattro ingranaggi collegando il timpano centrale con una raggera sovrapposta riportante i mesi per cerchi concentrici e le ore a mezzo di verghette. Abbiamo altresì visto come una « bulla » fissata sul galleggiante si alzi e si abbassi a seconda la stagione indicando le ore sulla raggera sovrapposta nel giusto mese.

Quanto a regolar l'acqua perchè si moderi secondo l'occorrenza, si farà così: dietro il fronte dell'orologio, nell'interno, si collochi un serbatoio, nel quale, per mezzo d'un tubo salga la acqua da un orificio in basso. E al serbatoio si affigga un timpano di bronzo munito di un foro per il quale affluisce in esso l'acqua del serbatoio. E nel timpano se ne includa uno minore mediante cardini torniti maschi e femmine, stretti in modo che il timpano minore volgendo intorno come una girella nel maggiore, giri pian piano con arte. All'orlo del timpano più grande si segnino a uguali intervalli trecentosessantacinque punti. E il foro di questo disco pongasi in modo che l'acqua affluisca per esso nel timpano maggiore e si serbi regolarmente (vedere fig. 16).

Quando dunque le figurazioni dei segni celesti saran fatte sull'orlo del timpano maggiore che rimane immobile, allora rappresentano al sommo il segno del Cancro e, perpendicolarmente sotto di esso, il Capricorno; a destra di chi guarda, la Bilancia, a sinistra, il segno dell'Ariete; e gli altri spazi fra essi, siano disegnati come si vedono nel cielo.

Quindi allorchè il sole sarà nel Capricorno, l'indice del dischetto dalla parte del timpano grande toccando ogni giorno un punto del Capricorno e avendo sotto a perpendicolo un forte peso d'acqua, celermente questa per il foro del dischetto si riverterà nel vaso; il quale allora ricevendola in breve tempo si colma e quindi affretta e abbrevia le lunghezze dei giorni e delle ore.

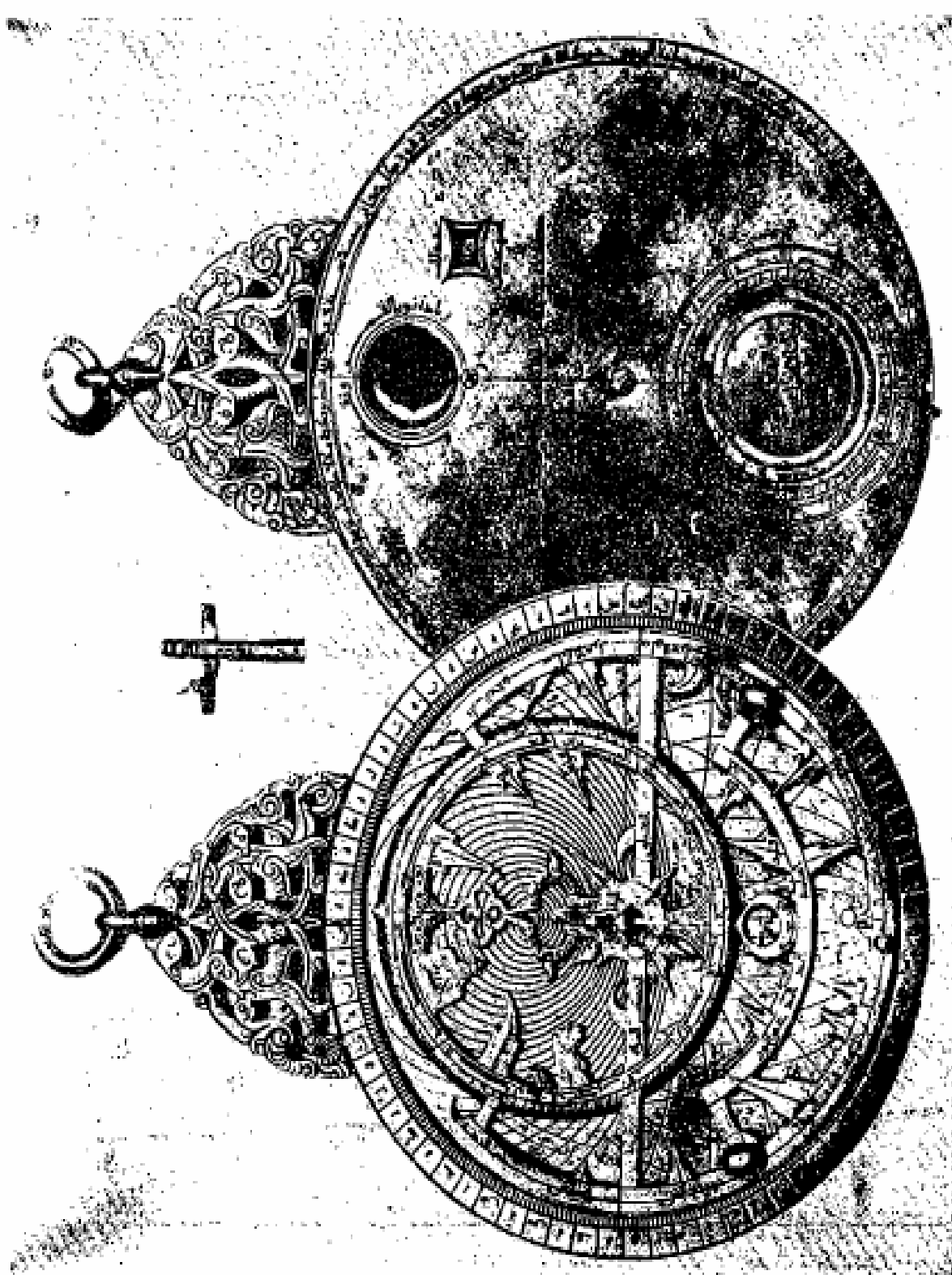


FIGURA 17

OROLOGIO ARABO DI ABI BAKR (a 1221/2)

(ora al Museo della Tecnica di Oxford)

Quando poi nella rotazione quotidiana del minor timpano l'indice entra nell'Acquario, allora il foro si scosta dalla perpendicolare, e l'acqua è costretta a fluire più lentamente.

Così, man mano che il vaso riceve l'acqua con meno celere corso, si allungano gli spazi delle ore. Ma ai punti dell'Acquario e dei Pesci, salendo per gradi, il foro del dischetto tocca l'ottava parte dell'Ariete e presenta al getto moderato dell'acqua le ore equinoziali.

Dall'Ariete, traverso gli spazii del Toro e dei Gemelli, al sommo del Cancro all'ottava parte giunge il foro; oppure il timpano continuando la rotazione e tornando in alto perde vigore, sicchè scorrendo più lento, allunga indugiando gli spazii e produce nel segno del Cancro le ore solstiziali.

Quando declina dal Cancro, e traverso il Leone e la Vergine, arriva all'ottava parte dei punti della Bilancia, di nuovo rende le ore equinoziali. Poi, traverso gli spazii dello Scorpione e del Sagittario, abbassandosi sempre più il foro in pendio e tornando per una rivoluzione all'ottava parte del Capricorno, ripristina con la celerità del getto la brevità delle ore brumali.

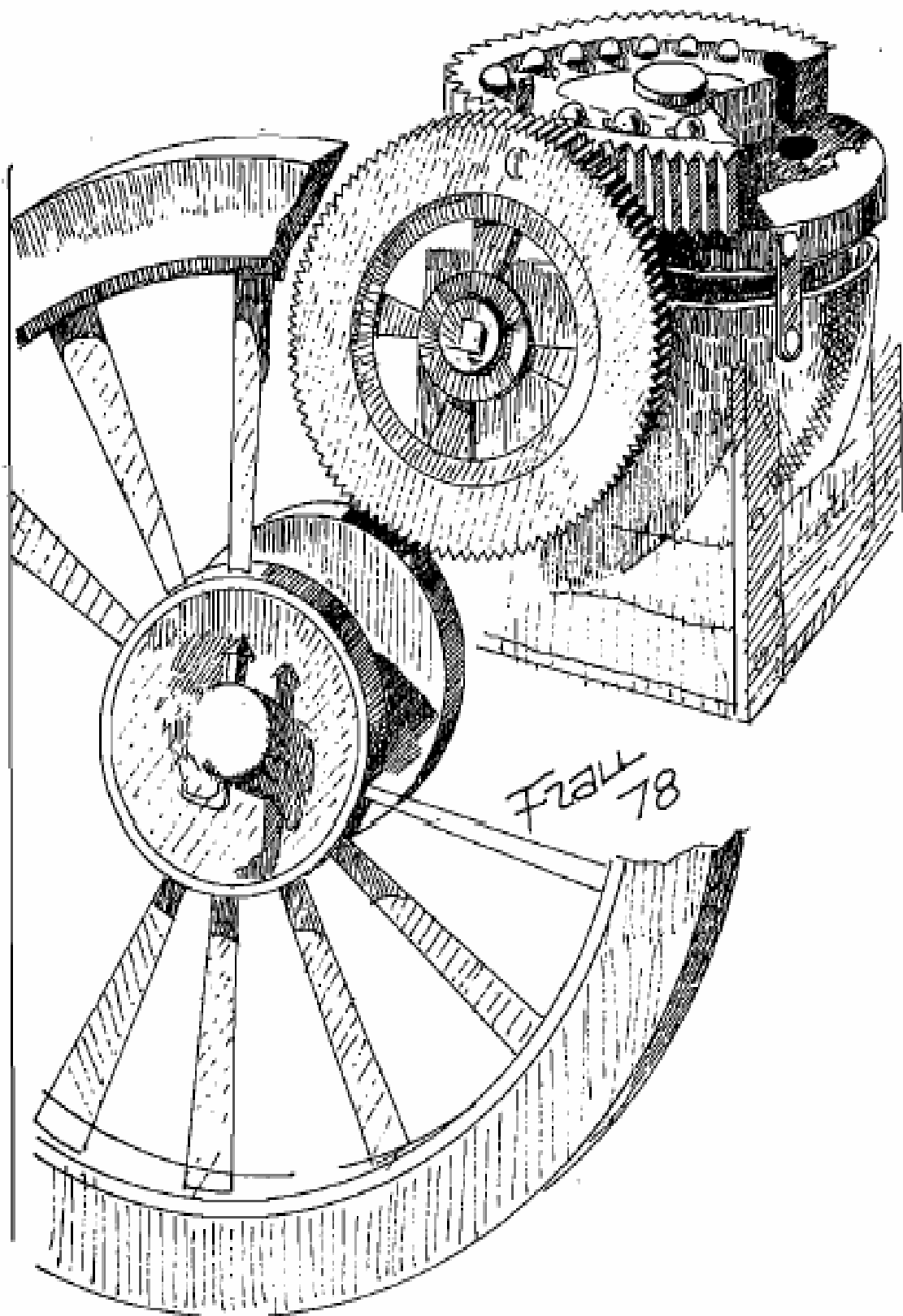


FIGURA 18
RICOSTRUZIONE DEL CONTAMIGLIA PER CARRO DA VITRUVIO

UN CONTAMIGLIA

Nella descrizione del contamiglia in Vitruvio sono riportati elementi tecnici di notevole rilievo:

— un sistema di ingranaggi contrapposti con elementi perpendicolari fra loro in cui il movimento si trasmette tra ingranaggio ed ingranaggio, contrariamente a quanto abbiamo visto col meccanismo di Anticythera dove gli elementi agiscono (ad eccezione dell'ingranaggio trainante) tutti in senso orizzontale e dove il movimento si trasferisce dall'ingranaggio al pignone e viceversa;

— un rapporto 1 : 400 attuato tra un ingranaggio di 400 denti ed un unico dente posto lateralmente ad altro ingranaggio;

— l'introduzione del principio della turbina idraulica con l'applicazione alla ruota navale contamiglia di alette esterne mosse dall'azione delle onde marine.

In sostanza il meccanismo (Fig. 18) funziona come un moderno tassametro (nel quale però il rapporto è sempre 1/10).

Un tamburo fissato sul mozzo di una ruota di diametro determinato (4 piedi = ml. 1,1824), girando con essa muove ogni giro un dente di un ingranaggio avente 400 denti. Ogni 400 giri quest'ultimo ingranaggio muove un disco il quale per un sistema di fori coincidenti lascia cadere una pallina di metallo ogni determinato numero di giri.

Questo meccanismo sembra utilizzasse anche alcune viti senza-fine.

Indubbiamente interessante l'uso di questo strumento per la navigazione marittima con l'applicazione della ruota esterna alla nave di alette metalliche mosse dal flusso delle onde.

Ma veniamo al testo:

Ora il pensiero della scrittura passa ad un procedimento non inutile, anzi di somma abilità, trasmessoci dagli avi, median-



FIGURA 19

VARI ESEMPI DI CADUCEO-BUSSOLA

- A — ERMETE da anfora attica di stile severo del Museo Etrusco-Gregoriano in Vaticano
- B — ERMETE con caduceo guida Apollo da vaso attico
- C — Dal celebre VASO FRANÇOIS, altro esempio

te il quale viaggiando seduti in vettura, o navigando per mare, possiamo sapere il numero di miglia percorse.

Ed ecco come:

Le ruote della vettura abbiano un diametro di 4 piedi, sicchè quando sia segnato sulla ruota un certo luogo e da esso cominci progredendo a far la rotazione sul suolo della strada, tornando a quel luogo iniziale, avrà fornito una misura di spazio di 12 piedi.

Preparato ciò, sul mozzo della ruota, all'interno, s'includa stabilmente un timpano con un unico dentino sul fronte esterno della sua circonferenza. Più su si fissi alla cassa della vettura un cassetto munito di un timpano girante, posto a coltello fisso sopra un pernetto. Sul fronte del timpano si distribuiscano egualmente 400 dentini che ingranino col dente del timpano inferiore.

Oltre a ciò, al fianco del timpano superiore si infigga un altro dentino sporgente dagli altri denti. Più su, ancora un timpano orizzontale, dentato allo stesso modo, collocato sopra un cassetto e munito di denti che ingranino col dentino fisso sul fianco del secondo timpano. Nel qual timpano si facciano tanti buchi, quante dovranno essere le miglia del cammino d'un giorno, poco più, poco meno, non importa. In tutti quei buchi si pongano ciottoli rotondi. E nella scatola del timpano, ossia nel casellario, facciasi un buco unico, munito di un canaletto, traverso il quale i ciottoli deposti nel timpano, arrivano al punto, possan cadere a uno a uno giù in un vaso di bronzo entro il cofano della vettura.

In tal modo, quando procedendo la ruota porti seco il timpano inferiore il cui dentino, ad ogni giro spinga e faccia girare i dentini del timpano superiore, avverrà che nel momento in cui l'inferiore compirà il 400° giro, il timpano superiore avrà fornito una sola rivoluzione, e il dentino fisso nel suo fianco farà avanzare un dentino del timpano orizzontale.

Quando dunque per 400 giri del timpano inferiore il superiore ne avrà fatto uno, la percorrenza darà 5000 piedi, cioè 1000 passi. Perciò ogni ciottolino che sonerà cadendo, avvertirà essere trascorso un miglio. E quindi il numero dei ciottolini raccolti in basso indicherà in tante miglia il viaggio compiuto.



FIGURA 20

STELE PUNICA A CARTAGINE
NAVE PUNICA CON CADUCEO-BUSSOLA A PRUA

E per le navigazioni ha effetto lo stesso metodo mutati pochi particolari.

Si passi traverso i lati delle pareti un perno con le teste sporgenti della nave, e ad esse si fissino ruote del diametro di 4 piedi, con fitte intorno ai fianchi alcune pinne sfioranti l'acqua. Inoltre, alla metà del perno e in mezzo alla nave siavi un timpano con un unico dentino ritto fuori della rotondità di esso. Ivi è collocata una scatola avente incluso un timpano con 400 dentini affatto uguali, che ingranano col dentino dell'altro timpano; e oltre a ciò, fisso a un lato, ritto sporgente dalla rotondità, altro dente unico. Sopra, in altra scatola, pongasi su un pernetto un timpano orizzontale, dentato alla stessa maniera, con denti che ingranano col dentino fisso nel fianco del timpano verticale. Sicchè i denti del timpano verticale, spingendo ad ogni giro i denti del timpano orizzontale, gli fan compiere un cerchio.

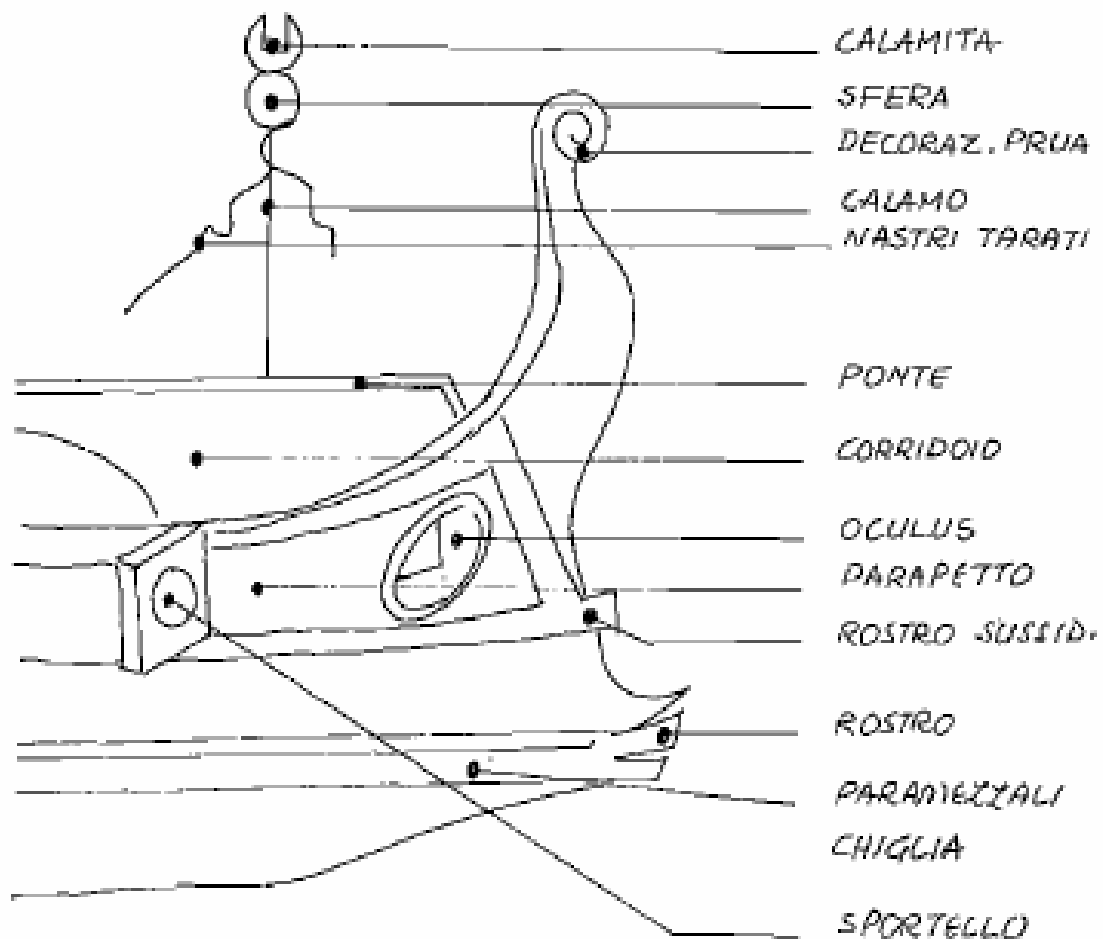
Nel timpano orizzontale si faccian tanti buchi nei quali si collochino ciottolini tondi. Nella scatola di questo timpano si pratici un buco munito di canaletto, per dove il ciottolino, libero dell'ostacolo, suoni cadendo in un vaso di bronzo.

Così, quando la nave sarà in movimento, sia per remi, sia per soffio di venti, le pinne di sulle ruote, sfiorando l'acqua avversa, cacciate indietro da veemente impulso faran girare le ruote; le quali ruotando, muovono il perno, e il perno muove il timpano, il cui dente, girando in cerchio ad ogni giro spinge un dente del secondo timpano e produce misurate rotazioni.

Talchè quando mediante le pinne le ruote avran girato 400 volte, il timpano, compiuta una sua rivoluzione, per mezzo del dente fisso nel fianco, spingerà un dente del timpano orizzontale

Quindi la rivoluzione del timpano orizzontale tanti ciottolini recherà verso il buco, tanti ne emetterà per il canaletto; sicchè per il suono e per il numero sarà indicato il percorso della navigazione ».

Possiamo ben immaginare quanto incerta risultasse la misurazione del percorso marittimo così ottenuto solo se si faccia mente all'azione di « deriva » e di « scarrocciamento » prodotta dai venti.



F. S. U.
 78

FIGURA 21

SCHEMA DELLA NAVE PUNICA CON CADUCEO-BUSSOLA

Si affaccia a questo punto l'affascinante e suggestiva ipotesi proposta da Mario Pincherle (21) sull'uso dell'antico CADUCEO in funzione di bussola e, sull'effetto correttore dell'azione di « deriva » prodotta dal vento, dei due nastri applicati tra la sfera ed il calamo del caduceo stesso (Fig. 22).

Nel III e II sec. a.C. erano certo presenti le premesse scientifiche per risolvere vari problemi connessi alla navigazione marittima, indipendentemente da quelli collegati alle conoscenze astronomiche che erano stati affrontati da Eratostene, ma forse le sorprendenti invenzioni degli Accadi, dei Fenici (22) e dei Pelasgi (23) erano già state dimenticate, o, sconosciute alla cultura greca del 3° sec. a.C. erano emigrate verso l'estremo oriente.

L'iter della dimenticanza di questa probabile invenzione (dovuta alla scoperta di certi poteri e di certe qualità contenute in certi minerali ferrosi) è peraltro documentato dalle figurazioni del CADUCEO che si ritrovano nei vasi attici (Fig. 19) espresse molto più realisticamente di quelle ormai estremamente idealizzate e ridotte a figure di non-senso in posteriore epoca romana.

(21) Mario Pincherle: « Come esplose la civiltà » Ed. Armenia - Milano 1974. Afferma che il caduceo non sarebbe altro che l'antenato di quella bussola che gli amalfitani trovarono su una nave turca catturata la primavera del 1272 nel porto di Tunisi. Bussola (buxola = scatola) che gli amalfitani non seppero interpretare che in parte e che risultava composta da una calamita, da una sfera, da un calamo e da due nastri. Gli antichi, secondo Pincherle, avevano già risolto (ma all'epoca di Vitruvio avevano già dimenticato) anche il problema della « deriva » con l'impiego dei due nastri che nel caduceo sembra avessero la funzione di riportare la sfera nella primitiva posizione dopo che il vento li aveva costretti ad avvolgersi sul calamo (fig. 22/B).

(22) Un calamo con contrappeso è inciso su una stele punica (fig. 22/A).

(23) La « tavola pelasgica » (pinace) costituita da un disco circolare che riportava disegnata la rosa dei venti con i punti cardinali, dati relativi al sorgere ed al tramontare del sole della luna e degli astri, veniva orientata ruotandola a mano.

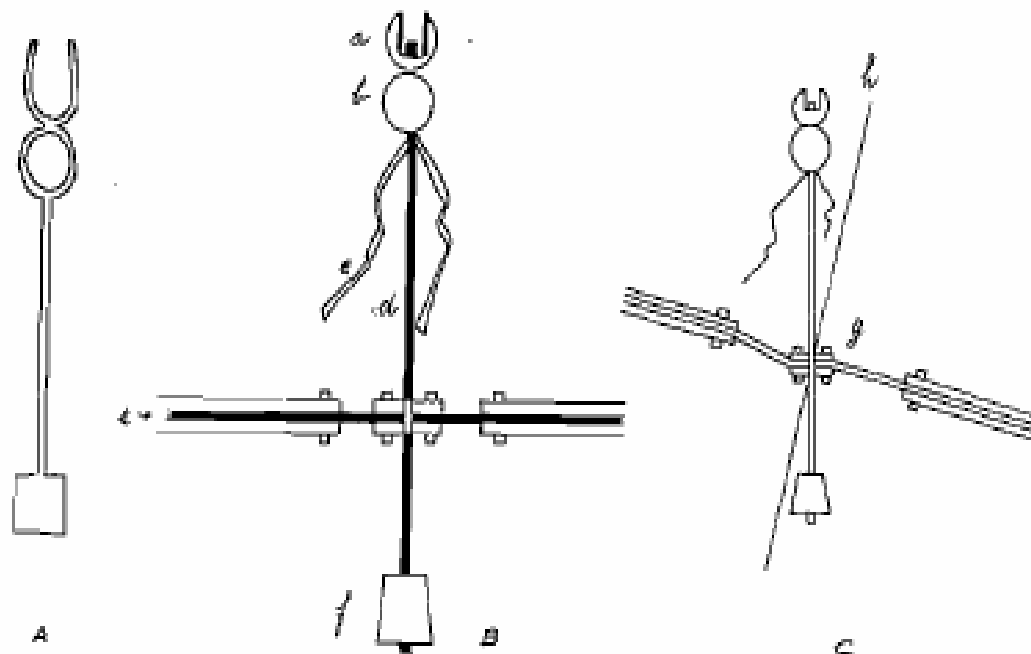


FIGURA 22

FUNZIONAMENTO DEL CADUCEO-BUSSOLA

A) DA UNA STELE PUNICA: CADUCEO CON CONTRAPPESO

B) RICOSTRUZIONE DI M. PINCHERLE

(in op. cit. nel testo)

- a — calamita girevole
- b — sfera per la eliminazione dell'attrito
- c — nastri tarati
- d — calamo
- e — membrana di cuoio
- f — contrappeso

C) CADUCEO CON NAVE IN MOVIMENTO

(da M. Pincherle in op. citata nel testo)

- h — asse del ponte della nave
- g — sistema di giunto cardanico

STRUMENTI PUNICI DI NAVIGAZIONE

Io ritengo che l'intuizione di Mario Pincherle meriti più che una formulazione di semplice ipotesi e che possa concretizzarsi in una affermazione di validità della tesi del caduceo come antica bussola.

Penso che possa dirsi superata una interpretazione restrittiva del caduceo a simbolo religioso.

La prova è in una stele punica di Cartagine, in cui il caduceo-bussola è raffigurato addirittura come vero e proprio strumento montato a prua di una nave punica (24).

E' una delle raffigurazioni più stupefacenti di cui possa sentirsi gratificato un ricercatore di tecnologia meccanica antica (Fig. 20).

Nelle figurazioni vascolari attiche la sfera su cui liberamente ruota la calamita ha più la forma di un cerchio di ferro che non quella di una sfera. Manca all'autore la conoscenza visiva dello strumento. Egli è evidentemente ispirato da altri disegni.

Nella figurazione della stele punica invece, non vi sono dubbi, si tratta veramente di una sfera.

Il movimento fluente dei due nastri posti ad annullare l'effetto di scarrocciamento prodotto dal vento crea l'illusione della nave in movimento. La calamita a forma di ferro di cavallo non ha più forma « simbolica »: il suo disegno è indubbiamente « tecnico ».

La ricostruzione dello strumento riportata nel disegno di

(24) La nave punica raffigurata sembra posteriore al IV sec. a.C. E' da rilevare la prua ricurva in avanti che succede alle prue verticali del V sec. nonché il ponte, molto alto, che nelle navi fenicie si estendeva per tutta la lunghezza della nave, lo sportello che chiudeva a prua il corridoio dei rematori e che farebbe pensare ad una trireme. Il rostro davanti ai paramezzali che la classifica « da guerra ». L'« oculus », ecc.

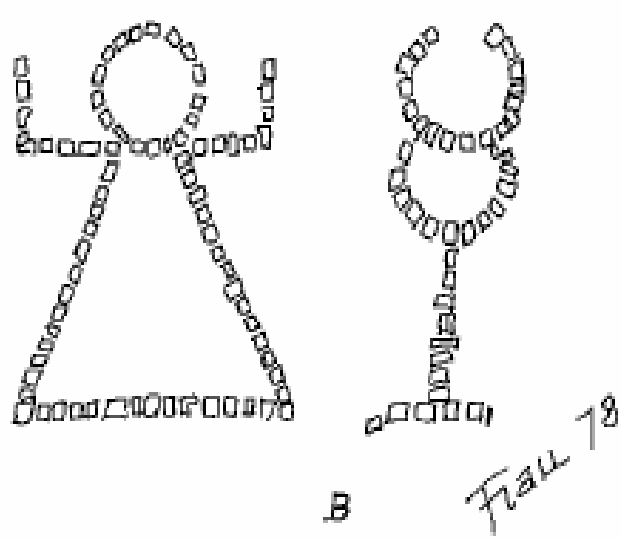
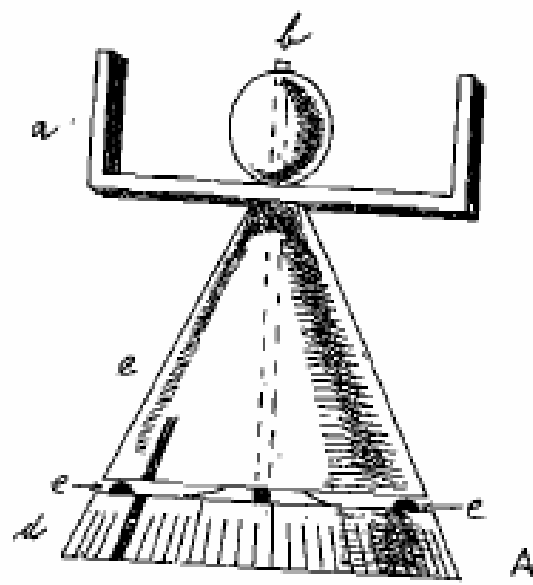


FIGURA 25

A) RICOSTRUZIONE DI UN'ALIDADA

(da M. Pincherle in op. citata nel testo)

- a — alidada di traguardo
- b — perno
- c — cono girevole
- d — base fissa graduata
- e — eccentrici

B) ALIDADA e BUSSOLA

(da un pavimento musivo punico in Sardegna)

cui alla fig. 22/c dimostra anche la capacità dello strumento di operare sotto l'effetto del «rollio» o del «beccheggio» della nave.

Siamo al «giunto cardanico» ante litteram per cui lo stesso strumento opera in modo perfettamente verticale anche col piano di coperta inclinato (Fig. 22/c).

La stele di Cartagine (Fig. 20/A) rappresenta persino il contrappeso al caduceo-bussola.

Nella stele di Lilibeo (Fig. 26) ora nel Museo nazionale di Palermo questo strumento è rappresentato a grandezza naturale. Le proporzioni si avvicinano a quelle della nave. Esso è rappresentato insieme ad una «alidada» e ad un altro strumento che ha tutte le caratteristiche di un sestante (Fig. 25): è di 60° la sua angolazione al vertice, ha un settore circolare (AB) ed una alidada (CD) facente perno in C.

Sulla destra un personaggio sta in atto di traguardare tutti e tre gli strumenti.

Sembra essere concentrata in questa stele tutta la strumentazione meccanica, gelosamente sottratta alla conoscenza delle altre potenze marinare, in uso presso la prestigiosa marinaria punica.

E' vero che quest'ultimo apparecchio viene identificato in un «incensiere» (25), ed è anche vero che l'alidada è universalmente noto fra i cultori di studi punici come il «segno di Tanit» al quale sono state date interpretazioni che vanno «dallo sviluppo del segno egiziano della vita, l'ankh, alla combinazione del betilo o pilastro sacro, e dal simbolo solare, divisi eventualmente da una falce di lunghezza schematizzata» (26), o al più come una idealizzazione antropomorfa femminile. Ma io ritengo che nell'analisi della creatività antica non tutto sia da ricondurre ad una sfera di beata contemplazione della bellezza classica ma sia necessaria una più oculata e aderente interpretazione scientifica degli elementi di vita di una civiltà, quella fenicia, che fu prettamente «pratica» ed «attiva», che non creò statue ma navi tecnicamente superlative.

La sfera che ruota sotto l'effetto del vento trascinando la

(25) A. M. Bisi. La cultura artistica di Lilibeo. Oriens Antiquus 1968.

(26) E. Acquaro. Cartagine: un impero nel Mediterraneo pag. 80 Newton Compton.

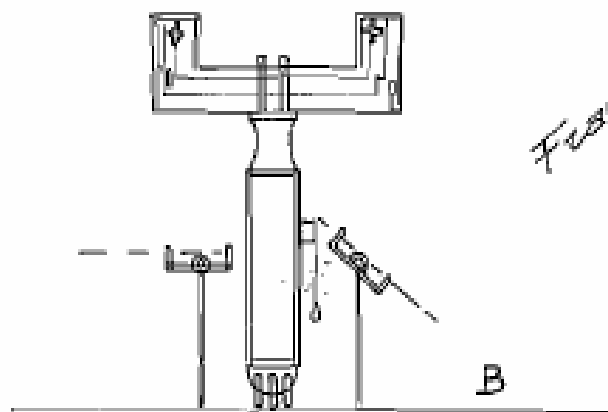
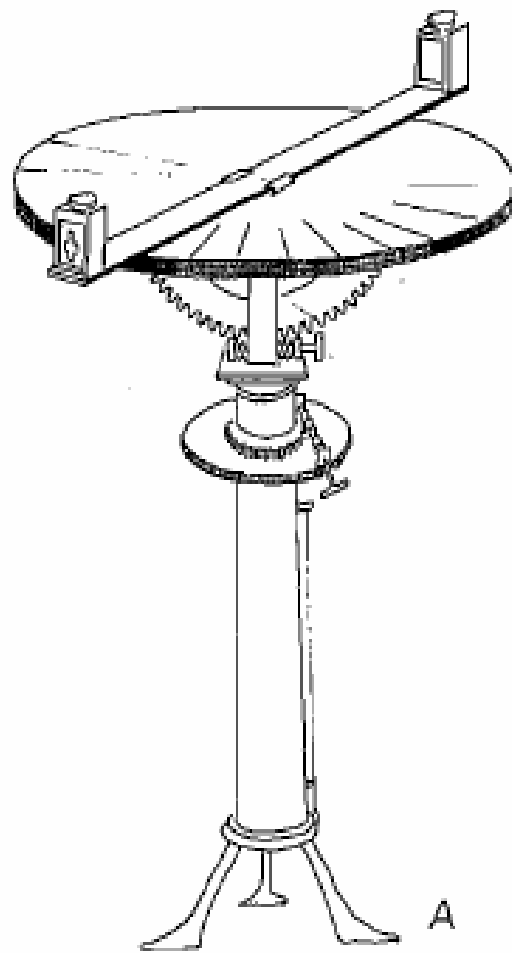


FIGURA 24

A — RICOSTRUZIONE DELL'ALIDADA DI ERONE
(secondo Venturi)

B — LO STESSO STRUMENTO COME APPARE DISEGNATO NEI CODICI
ANTICHI

calamita in deriva di qualche grado viene ricondotta nella primitiva posizione per effetto dei due nastri avvolti a spirale sul calamo che agiscono come molla di ritorno e certamente i nastri dovevano essere tarati e la loro lunghezza regolata per successive esperienze pratiche.

C'è da chiedersi come mai questo strumento, frutto dell'alto livello tecnologico raggiunto dai Fenici nell'arte della navigazione marittima (27) emigrerà verso oriente e non lascerà la minima traccia (oltre ai due serpentelli sul caduceo di Mercurio) nella civiltà romana e occidentale.

Forse questo caduceo-bussola scomparve con Cartagine nell'incendio del 146 a.C., o forse 80 anni (dal 264 al 146 a. C. — durata delle guerre puniche) furono un lasso di tempo troppo esiguo per portare alla conoscenza ed all'apprezzamento dei romani sofisticate applicazioni tecniche, frutto di 8/9 secoli di primato nella marineria.

Fu certo una singolare coincidenza che la stessa bussola (non molto diversa d'aspetto), scomparsa con la distruzione di Cartagine riapparisse nella primavera del 1272, proprio nel porto di Tunisi, agli occhi degli amalfitani che ne fraintesero anche il funzionamento, ma che comunque ebbero il merito di introdurre lo strumento, dopo 15 secoli, nella sfera culturale occidentale.

Ma esiste ancora un'altra prova a suffragare la funzione di STRUMENTO del caduceo-bussola, ed è la figura rappresentata nella parte superiore, cioè nel timpano della stele, presumibilmente del III sec. a.C., riprodotta nella Fig. 20: una alidada (al'idada), strumento di particolare importanza per la navigazione marittima « a vista ». Un'asticciola orientabile a mano abbinata ad un cono girevole su un disco fisso con cerchio graduato (forse un derivato del pinace pelagico ma certo un progenitore dei moderni teodoliti).

Questi due strumenti effigiati in ogni dove: sulle stele, sui

(27) Dice Erodoto (IV, 42) che il faraone Neco diede incarico ai fenici (nel 600 circa a.C.) di uscire dal Nilo verso il Golfo Arabico, circumnavigare la Libia (Africa), giungere al Mare settentrionale (Mediterraneo), dopo aver attraversato le colonne d'Ercole e quindi raggiungere l'Egitto. Cosa che essi fecero. Sono anche noti i collegamenti periodici con Tartesso (Spagna) nonché la diffusione dei loro traffici per tutto il bacino del mediterraneo.

pavimenti, sui cippi, sui vasi rappresentano quelli che furono gli strumenti basilari della navigazione punica al di qua ed al di là delle colonne d'Ercole.

Nella stele di Cartagine è riportato, come si vede, anche il cerchio « azimutale » alla base dello strumento il cui funzionamento dovrebbe risultare quello della Fig. 23/A.

In un pavimento musivo punico, a Cagliari, i due strumenti vengono effigiati uno accanto all'altro (Fig 23/B).

Questi simboli ricordano le nostre ANCORE poste su porte, edifici, documenti ecc. attinenti attività marinare.

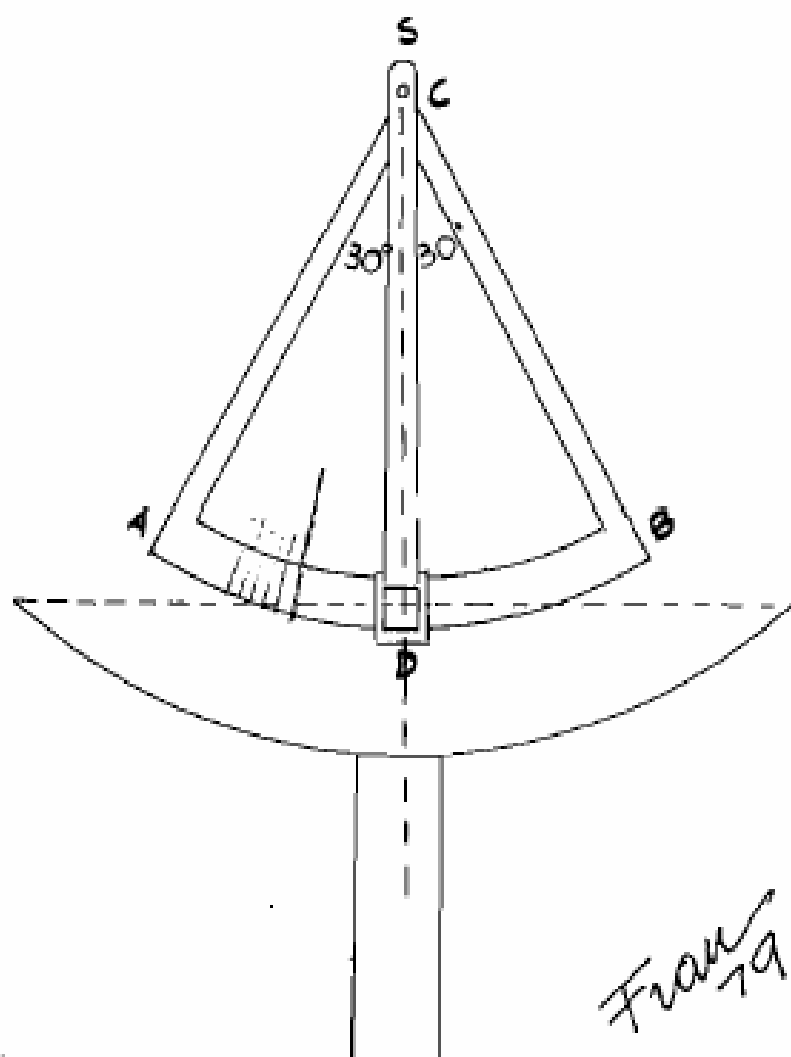


FIGURA 25

SCHEMA DI SESTANTE

AB — SETTORE GRADUATO (60°)

SD — ALIDADA

C — FERNO SU CUI RUOTA L'ALIDADA NEL SESTANTE

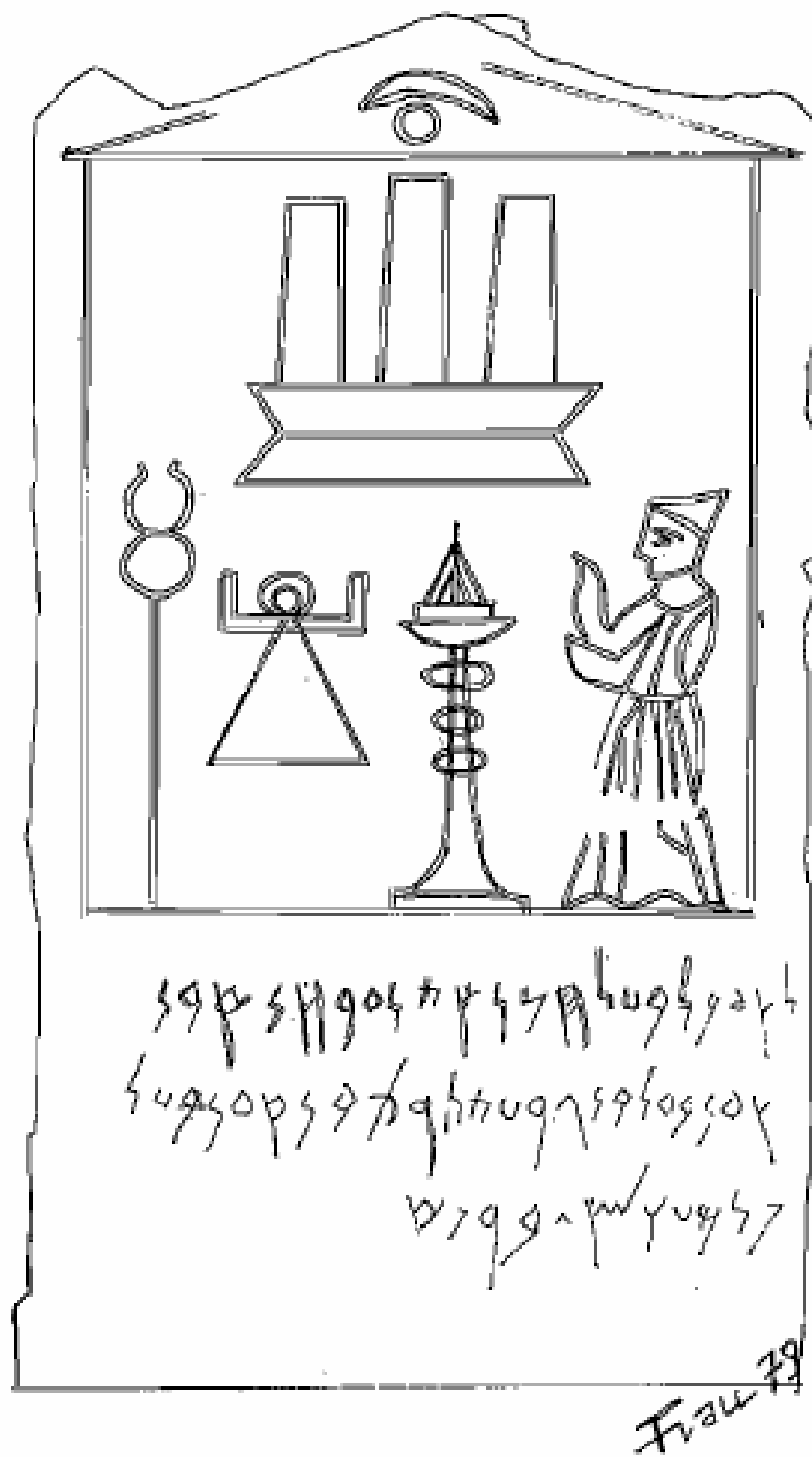


FIGURA 26

STELE PUNICA DA LILIBEO

INDICE DELLE FIGURE

- Fig. 1 Frammenti di Anticythera.
- » 2 Composizione dei frammenti.
 - » 3 La scatola. Ricostruzione del quadrante anteriore.
 - » 4 La scatola. Ricostruzione dei quadranti posteriori.
 - » 5 Il complesso degli ingranaggi. Ricostruzione.
 - » 6 Radiografia degli ingranaggi.
 - » 7 Ingranaggio principale B1.
 - » 8 Dettaglio di un ingranaggio. Un pignone.
 - » 9 L'orologio di Ctesibio.
 - » 10 Altra versione dell'orologio.
 - » 11 L'orologio anaforico di Vitruvio.
 - » 12 I tempi dello zodiaco secondo Gemino lo « scafo » di Aristarco da Samo.
 - a) I tempi dello zodiaco secondo Gemino.
 - b) Lo « scafo » di Aristarco da Samo.
 - » 13 La divisione del tempo presso i romani.
 - » 14 La costruzione degli analemmi secondo Vitruvio.
 - » 15 Sistema di funzionamento dell'orologio anaforico di Vitruvio
 - » 16 Meccanismo dell'orologio anaforico di Vitruvio.
 - » 17 Orologio arabo di Abu Bakr (1221/22).
 - » 18 Contamiglia
 - » 19 Vari esempi di caduceo-bussola.
 - » 20 Stele punica da Cartagine.
 - » 21 Prua di nave punica con caduceo-bussola.
 - » 22 Funzionamento del caduceo-bussola
 - » 23 Ricostruzione di una alidada
 - Alidada e bussola da un pavimento musivo punico.
 - » 24 Il traguardo di Erone.
 - » 25 Schema di un sestante.
 - » 26 Stele punica di Lilibeo.