

FIG. 19

Schema generale degli impianti di sollevamento nell'Anfiteatro Flavio.
 a) ascensori per belve secondo G. Cozzo (vedi FIG. 20).
 b) venti ascensori. (Non considerati in questo studio).
 c) quattro impianti di ascensori da 5 gabbie ognuno (FIG. 21-22) nei corridoi compresi fra i muri 7-8 secondo una mia ipotesi.
 d) impianto sollevamento «pegmata».

GLI IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO DELL'ANFITEATRO FLAVIO

Apparecchi particolari di sollevamento erano senza dubbio anche gli ascensori.

Gli ASCENSORI erano in uso ad esempio come montacarichi per la biancheria nelle Terme. Sembra che Nerone se ne fosse fatto costruire uno personale che aveva una corsa di 36 metri, era azionato da un verricello manovrato da tre schiavi, scorreva su guide di legno pesante ed era appeso ad un sistema di corde.

Il più complesso sistema di ascensori era però certamente quello dell'Anfiteatro Flavio dove ben trentadue di essi erano adibiti al sollevamento degli animali e delle bestie feroci.

Di questi impianti riporto qui di seguito la ricostruzione che di essi ci offre il Cozzo. Ricostruzione però convincente solo in parte (FIG. 20).

...questa costruzione complementare, evidente in figura, si compone di due sottili piedritti di un piede di spessore m. 0,29 e di una volta laterizia che, impostandovi, viene a costituire un piano murato interno, a metà altezza della cella. Alcuni vuoti caratteristici attraverso questa volta e visibili in pianta nella figura corrispondono con singolare evidenza all'attraversamento di una gabbia di ascensore e del relativo contrappeso. Dalle dimensioni del vuoto e dello spazio disponibile si deduce che la cassa dell'ascensore poteva raggiungere le dimensioni di ml. 1,10 x 1,30 ed un'altezza di m. 1,50 sufficiente a contenere, per qualche ora, ogni più grosso felino.

Nella parete di fondo di ogni cella, sormontato da un grosso architrave di travertino si apre un vano di 75 cm. di larghezza e di m. 1,15 di altezza che immetteva in un piccolo ambiente quadrato di m. 1,20 e alto m. 2,90 con le pareti costituite della migliore opera laterizia e senza altre aperture all'infuori di quella di accesso descritta. Evidentemente questo piccolo ambiente era riservato agli addetti alla manovra dell'ascensore contenuto in ogni cella.

In base a quei concetti di organizzazione e di divisione del lavoro che presiedevano ad ogni opera romana, questo

importante servizio era stato diviso in quattro reparti distinti, corrispondenti a ciascun quadrante dell'anfiteatro e perfettamente indipendenti fra loro; si può anzi affermare che ad ogni quadrante fosse destinata una speciale qualità di fiere, come può desumersi, nelle celle dei due quadranti opposti, dalla differenza che si riscontra nelle dimensioni dei vuoti murari, e quindi delle gabbie degli ascensori che vi scorrevano; questo, oltre che ad una misura di ordine corrispondevano anche ad un effetto scenico, facilmente apprezzabile, al momento degli spettacoli.

Il passaggio delle fiere dai rimessini provvisori alle gabbie di sollevamento era assolutamente rapida e semplice; immesse nello stretto passaggio compreso tra le celle ed il muro a pilastri, con un semplice gioco di cancelli, facilmente intuibile, si facevano arrestare e si introducevano nelle rispettive gabbie, quando erano già innescati i pesanti contrappesi che le dovevano sollevare; quindi si riponevano gli assi (rimossi alcune ore prima dello spettacolo) a ricostituire il piano dell'area e si attendeva il momento dello spettacolo » (52).

Questi ascensori agivano con eccezionale silenziosità, tempestiva e contemporaneità permettendo alle fiere, di irrompere contemporaneamente ed improvvisamente nella arena da ben trentadue punti contrapposti producendo un effetto scenico eccezionale.

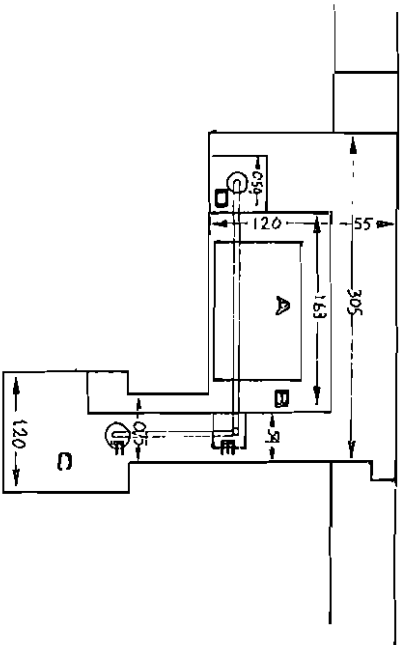
La corsa degli ascensori era di circa tre metri. La gabbia con le belve scorreva su guide forse lignee cosparse di grasso ed era sollevata da un sistema di carrucole, di contrappesi e forse da argani che si rifacevano ai sistemi già in uso con i polypastos (FIG. 20).

Da un locale adibito alla manovra degli argani un gruppo di bestiarii controllava l'ascensore, l'apertura delle gabbie ed il passaggio alla breve rampa che usciva sull'arena. Il fondo della gabbia è probabile che poggiasse su una base morbida (sacchi, tavolare, strame...)

Quello di Nerone poggiava su un pesante cuscino di pelle.

W. Sandermann nell'opera citata dice che nel palazzo di Tiberio vi sono tracce di un ascensore messo in movimento da forza idraulica.

(52) G. Cozzo « Ingegneria romana » Multigrafica Ed. Roma 70.



2

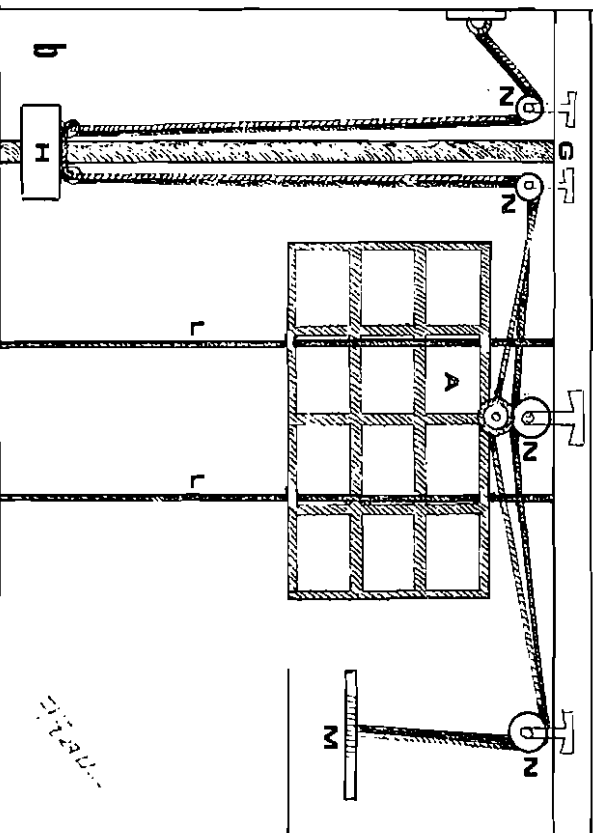


FIG. 20

a) pianta locale ascensore per belve secondo G. Cozzo.

- A) Gabbia ascensore
- B) Vano ascensore
- C) Locale manovra
- D) Contrappeso
- E) Impianto manovra cavi
- F) Argano sollevamento contrappesi

b) funzionamento ascensore.

- A) Gabbia ascensore
- L) Guide lignee
- N) Carrucole
- G) Palo scorrimento contrappeso
- H) Contrappeso
- M) Settore manovra

ALTRI IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO DELL'ANFITEATRO FLAVIO

Ma nell'anfiteatro Flavio esistevano altri due tipi di ascensore. Essi sono rilevabili, il primo nella corsia centrale degli ipogei ed il secondo nei corridoi laterali e particolarmente nel corridoio compreso tra i muri numerati dal Cozzo con i numeri 7 ed 8.

Neanche il primo tipo di questi sollevatori descritto e ricostruito da G. Cozzo risulta convincente. Tre piani inclinati incernierati a livello del piano arena avrebbero occupato l'intera parte centrale della grande galleria longitudinale degli ipogei oltre alle due laterali.

Ne riporto comunque le considerazioni generali: (53)

A dare una speciale importanza agli spettacoli venatori, ed allo scopo di presentare alcuni speciali soggetti, interveniva nell'arena un armamentario scenografico di cui si era perduta ogni traccia ed ogni idea chiara. Questo armamentario sommariamente descritto da Marziale (Epigrammi) e da Seneca (Epistola 88) consisteva in uno speciale macchinario che sollevava, dai locali sottostanti e nel mezzo dell'arena, giardini con alberi, piccole colline; torri, da cui uscivano uomini ed animali.

Seneca riporta che queste macchine silenziosamente e senza strepito da se stesse si sollevavano, crescevano poi in alto e con improvvisa varietà si ingrandivano e si dividevano; una volta terminato lo spettacolo le parti già separate si riunivano e quelle elevate si riabbassavano. Alcune volte queste macchine raffiguravano anche scene viventi di Dei od allusive a circostanze storiche o mitologiche; infatti una volta fu sollevato in alto, nel mezzo dell'arena, un toro a

(53) G. Cozzo op. cit. pag. 235.

cui era stato imposto, sul dorso, l'effigie di Domiziano, sotto le spoglie di Ercole.

Il funzionamento di questi piani rotanti era oltremodo semplice. Ad un dato momento, richiesto dallo spettacolo, erano rapidamente tolte le tavole costituenti la parte di asito asportabile dell'arena che li nascondeva; sganciati i contrappesi, questi piani ruotando intorno alla loro estremità più alta venivano a disporsi orizzontalmente, ottenendosi rapidamente l'effetto scenico desiderato.

E' possibile arguire le dimensioni a cui potevano giungere queste strutture sceniche, quando si pensi che per il piano inclinato maggiore si poteva disporre di un'altezza utile di cinque metri, prima dell'innalzamento e del successivo sviluppo delle « pegmata ».

A me non sembra, come ho detto, una ricostruzione plausibile e sono debitore a Mauro Incitti di avermi esternato le sue ipotesi al riguardo che ritengo più aderenti ad una corretta interpretazione e che condivido. Egli ritiene, per alcune strutture rilevate sui muri del corridoio centrale, che i piani inclinati fossero mobili e scorressero lungo le guide lignee fissate obliquamente alle pareti. Questi piani, sui quali erano adagiate le PEGMATA, erano fatti scorrere fin sull'arena (forse a mezzo di ruote (54) mossi da argani orizzontali dei quali sono rilevabili gli incassi per le travi sulle pareti del corridoio centrale.

In questo corridoio infatti non vi sono tracce di boccole di bronzo per i pali verticali degli argani come nei corridoi laterali ma esistono disposti in bell'ordine lungo le pareti, in terra, boccole di pietra, ma anche in tufo, aventi dimensioni di cm. 55 x 55 e spessore di cm. 25 con foro di 25/30 cm., per il sostegno, forse, dei travi orizzontali degli argani.

Questi piani potevano essere avviati sull'arena da cinque o forse sette guide di lancio a mezzo di cavi di trazione mossi opportunamente da argani orizzontali. E' anche probabile che alcuni cavi di trazione operassero dai velari dell'arena se è vero, come ci hanno tramandato alcuni scrittori, che alcune di

(54) Sono da ricordare le ruote del tipo « cuscinetto a sfere » utilizzate sulla nave di Caligola nel lago di Nemi per lo spostamento della piattaforma circolare (teatrale?).

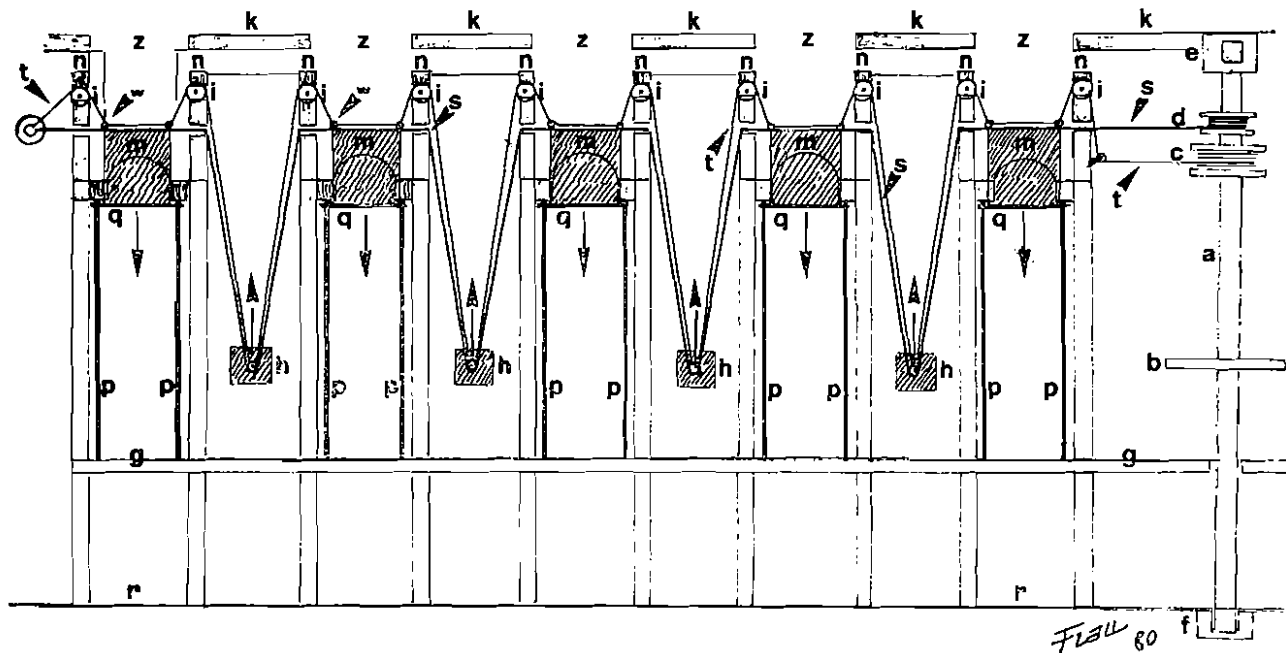


FIG. 21

Impianto ascensori nel corridoio compreso fra i muri 7-8 dell'anfiteatro Flavio. Fase discesa ascensori.

a) argano verticale

b) leva a crociera

c) timpano per cavi ascensori

d) timpano per cavi contrappesi

e) architrave sostegno argano verticale

f) boccola in bronzo per argano verticale (da $\varnothing 28$ cm.)

g) pavimento ligneo a m. 1 da terra

h) contrappesi in pietra da cm. 80x80x25 o 55x55x25

i) carrucole da cm. 24 \varnothing

m) gabbie ascensori m. 1 x 1

n) pilastri in pietra

p) guide lignee per gli ascensori

q) pavimento ascensori

r) piano terra

s) cavo contrappesi

t) cavo ascensori

z) botole

k) piano arena

w) anelli per scorrimento dei cavi.

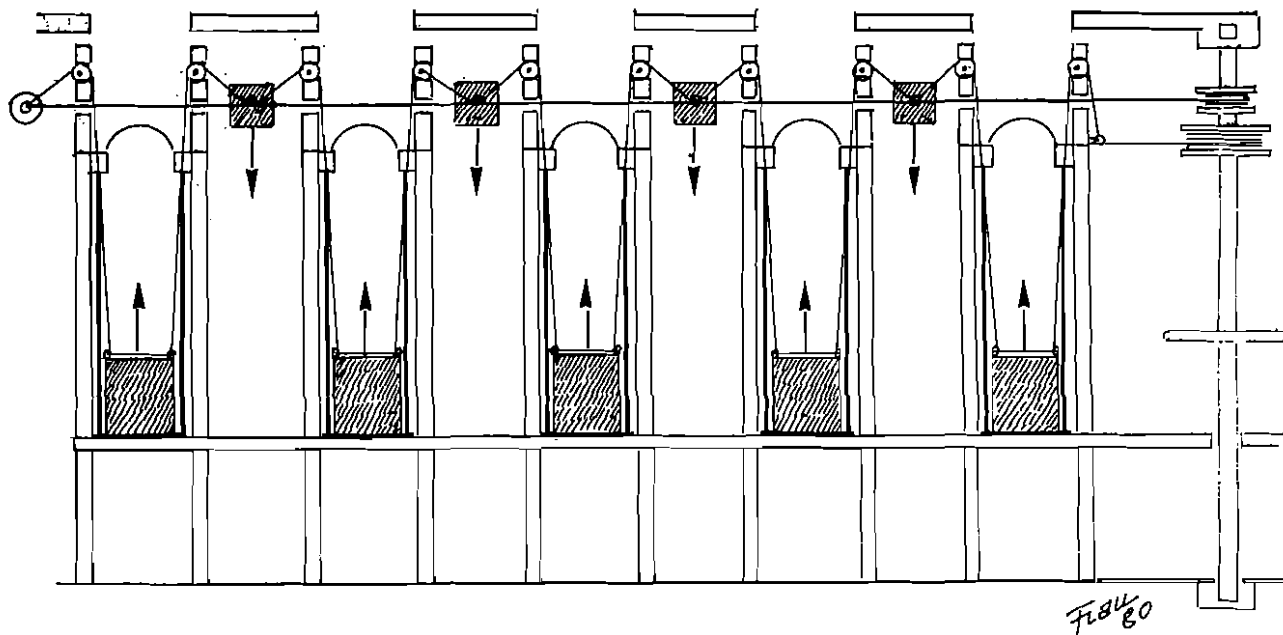


FIG. 22

Impianto ascensori nel corridoio compreso fra i muri 7-8 dell'Anfiteatro Flavio. Fase risalita ascensori.

queste PEGMATA venivano sollevate in aria ad altezza considerevole. Questi piani avevano quindi dimensioni corrispondenti alla larghezza del corridoio centrale ed alla lunghezza delle guide lignee. Provenivano dall'OFFICINA CHORAGICA situata sulla Velia.

Ma gli impianti più interessanti dovettero essere probabilmente quelli dei corridoi compresi fra i muri n° 7 e 8. In questi quattro corridoi simmetrici esistono tracce di quattro poderosi impianti di sollevamento moventi ognuno cinque ascensori: complessivamente venti ascensori (FIG. 21-22).

Altri impianti rilevati nei corridoi compresi tra i muri n° 5 e 6 muovevano ognuno dieci ascensori.

Non meno di sessanta botole quindi (da circa ml. 1,2 x 1,2) si aprivano sull'arena oltre a quelle del corridoio centrale per l'uscita delle PEGMATA.

Ho cercato di risolvere e ricostruire il sistema di funzionamento degli ascensori dei corridoi compresi fra i muri n° 7 e 8, sulla base delle tracce tuttora rilevabili.

Ho tenuto conto delle boccole di bronzo, quattro in tutto, incassate in blocchi di travertino (una boccola per ognuno dei quattro impianti, come dire un solo argano per ognuno dei 4 impianti), ho tenuto conto delle tracce del pavimento ligneo a circa ml. 1,60/1,80 dal piano terra, delle torrette in pietra con la sede per le carrucole, di alcune mensole aggettanti per il fissaggio delle guide lignee per i piani mobili delle gabbie degli ascensori e, delle feritorie per i cavi dei contrappesi e delle tracce lasciate dai cavi degli ascensori nel vano ad essi destinato.

Una volta stabilita l'area degli ascensori, il peso presunto degli stessi, il numero delle persone trasportabili, è stato possibile anche ipotizzare lo sforzo dell'argano ed il peso ottimale dei contrappesi (FIG. 21-22).

Veniamo al funzionamento.

L'argano verticale doveva avere le caratteristiche di quelli riportati nei bassorilievi relativi ai lavori per la costruzione del canale artificiale del Fucino da parte dell'imperatore Claudio (vedi FIG. 10 e FIG. 23).

Era dunque un argano a crociera mosso da due - quattro uomini con un timpano per l'avvolgimento dei cavi degli ascensori situati quasi all'altezza delle carrucole delle torrette in pietra ed un altro timpano per l'avvolgimento dei cavi dei contrappesi all'altezza delle feritoie orizzontali.

Un problema da chiarire è costituito dal collegamento tra i cavi delle gabbie degli ascensori ed i cavi dei contrappesi. Questi contrappesi consistevano in massi di travertino forati al centro per inserirvi un asse di ferro con carrucole ai lati per ospitarvi le corde. Forse due carrucole per i cavi degli ascensori e due carrucole per i cavi dei contrappesi.

Un sistema di questa fatta comporta la necessità di utilizzare un gran numero di carrucole. Quattro per ogni gabbia, quattro per ogni contrappeso, due per ogni torretta.

Si alternava comunque un vano per l'ascensore ad un vano per i contrappesi. Il sistema dei cavi si imperniava alla estremità dell'impianto su una trave fissa che sosteneva lo sforzo di trazione dell'argano. Portando in trazione i cavi che sostenevano gli ascensori si allentavano i cavi dei contrappesi che andavano a compensare lo sforzo per la salita degli ascensori. Quando gli ascensori si sollevavano i contrappesi si abbassavano. Invertendo la rotazione dell'argano i contrappesi si sollevavano e gli ascensori si abbassavano.

Calcolando dunque in circa 50 kg. il peso delle gabbie degli ascensori, in circa 65 kg. il peso medio di ognuna delle quattro persone sollevate, in circa kg. 225 il peso di un contrappeso in travertino (p.s. 2500 kg. xmc.) si hanno i seguenti carichi per la discesa e per la salita:

| | | | |
|---------------------------|---------------------------------------|-----|------------|
| — <i>per la discesa</i> — | sollevamento contrappesi 4 x 225 = | Kg. | 900 |
| | meno peso gabbie 5 x 50 = | » | 250 |
| | CARICO PER LA DISCESA = | » | 650 |
| — <i>per la salita</i> — | sollevamento gabbie 5 x 50 = | Kg. | 250 |
| | + sollev. persone 4 x 5 gb x 65 Kg. = | » | 1300 |
| | meno contrappesi 4 x 225 = | » | 900 |
| | CARICO PER LA SALITA = | » | 650 |

Con un carico effettivo per gli argani, tenuto conto del dimezzamento per effetto dell'impiego delle carrucole, di kg. 650 : 2 = Kg. 325.

Il che porta ad una ragionevole soluzione il problema dello sforzo di quattro uomini sull'argano a crociera.

I POZZI DEI CAMPI PALENTINI

I pali rotanti dell'Anfiteatro Flavio hanno analogia con gli impianti ritrovati presso gli antichi pozzi romani dei Campi Palentini (FIG. 10 e FIG. 23).

Si tratta dei pozzi costruiti a distanza media di 400 metri uno dall'altro necessari a raggiungere a profondità comprese fra 122 e 18 metri la galleria di eccezionale lunghezza fatta costruire dall'Imperatore Claudio che doveva scaricare nel fiume Liri le acque del lago del Fucino prosciugandone il bacino.

La manovra degli argani che servivano al sollevamento dei materiali di scavo ed all'abbassamento di quelli necessari ai rivestimenti, nell'interno dei pozzi di servizio, era fatto a braccia d'uomo; questo ci risulta da un bassorilievo rinvenuto nella costruzione del nuovo emissario e ci è confermato dal rinvenimento di un secchione che aveva capacità di soli 40 dmc, corrispondente ad un carico massimo di sollevamento di 75 kg. Il ridotto volume dei recipienti la grande altezza di molti pozzi, e la manovra fatta a braccia d'uomo, indicano un movimento lentissimo dei materiali attraverso i pozzi di servizio; ciò è però spiegabile pensando quanto dovesse essere minimo l'avanzamento giornaliero della galleria, che specialmente nella roccia doveva ottenersi esclusivamente con gli scalpelli e con le mazze.

La disposizione poi delle traverse in croce nelle armature dei pozzi indica la presenza di un doppio argano per ciascuno di essi, evidentemente uno serviva all'avanzamento a monte, l'altro per quello a valle, al fondo dei pozzi stessi » (55).

(55) G. Cozzo in op. cit. pag. 194 figg. 110 e 221.

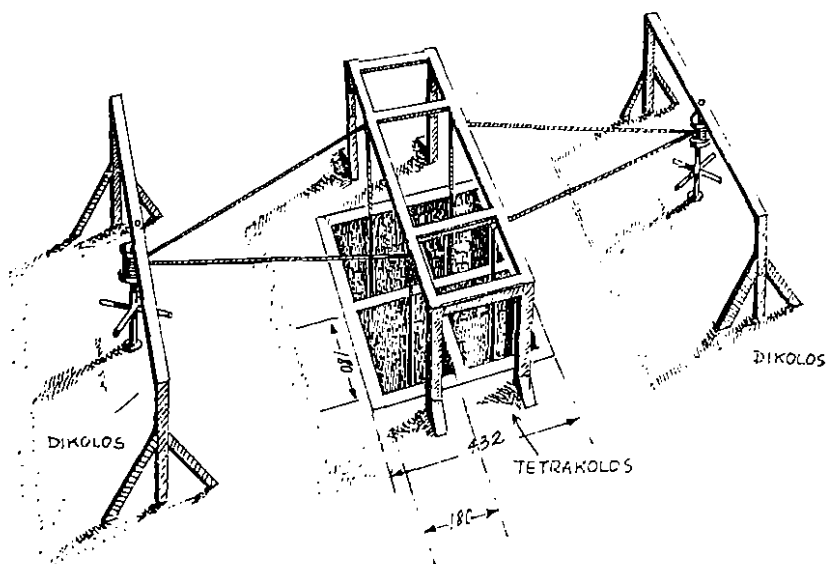
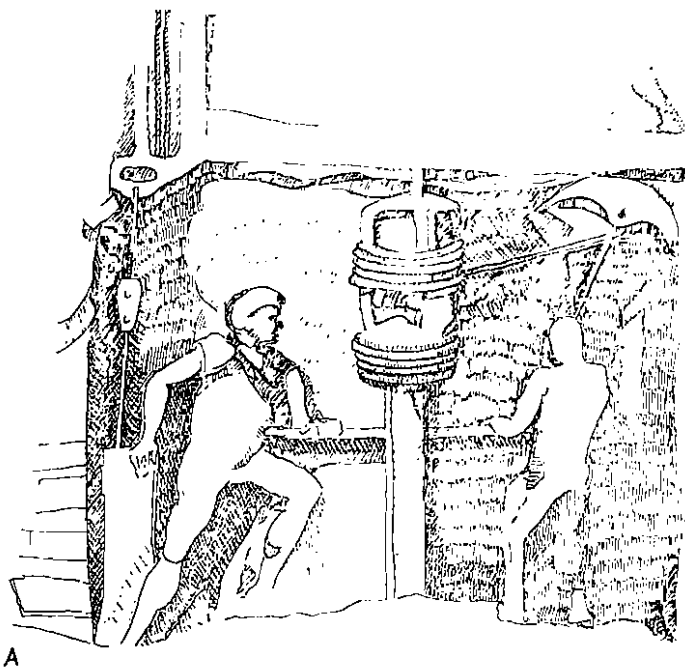


FIG. 23

A) Bassorilievo raffigurante un argano impiegato per i lavori di costruzione del canale di Claudio del I sec. d.C.

B) Impianto con argani ai pozzi dei campi Palentini del I sec. d.C.

DUE REPERTI

Hanno attinenza con i mezzi di sollevamento due reperti oggigi inventariati rispettivamente al Museo Navale di Albenga ed agli scavi di Ercolano (Casa a Graticcio):

- a) la cosiddetta RUOTA DI MANOVRA (FIG. 24/A);
- b) un arganello con relativo cordame (FIG. 24/B).

Tra i due apparecchi esiste una certa affinità ma mentre l'arganello assolve ad una chiara funzione di trazione non altrettanto semplice si appalesa la funzione della cosiddetta RUOTA DI MANOVRA.

Pertanto senza difficoltà la ricostruzione dell'arganello (FIG. 24/b ma con una lunga serie di ipotesi l'uso della RUOTA DI MANOVRA (FIG. 24/A).

Già il Lamboglia nel « DIARIO DI SCAVO A BORDO DELL'ARTIGLIO » del 1950 prospettava ben 5 ipotesi:

- 1) La ruota serviva per manovrare delle vele?
- 2) Serviva per tirare il TORMENTUM, che teneva fisso a prora e a poppa l'albero della nave?
- 3) Serviva a far funzionare i due timoni, sincronizzandone il movimento a mezzo di una doppia funicella?
- 4) Serviva ad una manovra di trazione, delle funi per l'attracco e per tirare la nave in secco.
- 5) Era un semplice strumento per la fabbricazione di funi a bordo, secondo il principio dell'attorcigliamento?

E' da notare che le ipotesi 3) e 5) sono senz'altro da escludere. Il funzionamento a coppia dei timoni raffigurato nella tomba egizia ricostruita al Museo Vaticano è molto efficiente e non risulta abbia bisogno di ruote. Come strumento di fabbricazione di funi non risulta assolutamente idoneo avendo i fori per il presunto passaggio di cavi forma tondeggianti da un lato ma tagliente dall'altro.

La nave di Albenga era una grossa nave oneraria romana adibita al trasporto di anfore. Affondò nel I sec. a.C. Le parti visibili del relitto misurano circa 30 m. x 8 con una portata di circa 2/3 tonn.

Peter Throckmorton dice che anche i relitti del Titan e di Grand Coglouè hanno restituito, come quello di Albenga, « singoli ruote di piombo, che possono aver fatto parte della attrezzatura per l'avvolgimento del cordame o per certi tipi di verricelli ».

Uno studio di Tea Coco (« sulla cosiddetta ruota di manovra della nave romana di Albenga »): così conclude: (poichè) l'oggetto in esame non presenta altre caratteristiche apprezzabili oltre quella del peso come tale e dei fori per fissarlo al suo apparato, l'ipotesi che si tratti di un'ancora sembra la più attendibile ».

E' certo che sulle navi si facesse maggiore uso di piombo per le apparecchiature di bordo che di ferro di per se più costoso ed anche più deteriorabile a causa della salsedine.

Io ho avuto modo di constatare come anche per piccole carucole di bordo venissero adoperati supporti di piombo, in un reperto proveniente dall'area marittima di Punicum.

Io ritengo che la RUOTA possa appartenere ad un TYMPANUM per argano verticale di bordo.

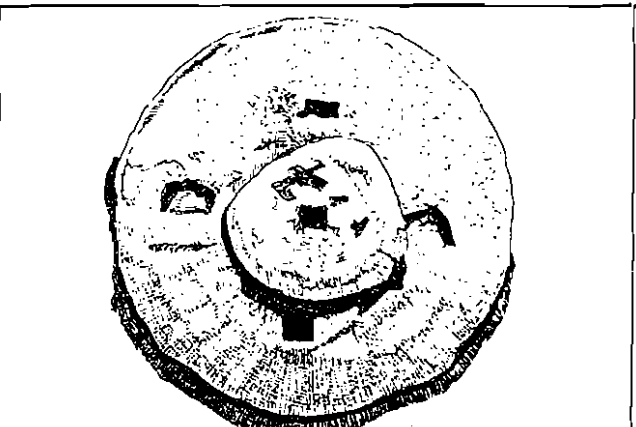
L'impiego della ruota in piombo può essere motivato dal fatto che questo argano navale non poteva contare su un supporto verticale sopraelevato per il fissaggio della parte superiore dell'asse dell'argano come per gli impianti dell'anfiteatro Flavio o dei Campi Palentini (vedi FIG. 10).

La ruota di piombo col suo peso poteva offrire una sufficiente forza di pressione sulla coperta, mentre la ruota inferiore poteva anche essere di legno e poteva essere imperniata per mezzo di una boccola lignea rivestita di bronzo alla coperta stessa della nave. In questo caso la ruota di piombo col suo peso poteva avere il compito di impedire, durante la rotazione l'uscita dalla boccola lignea dalla sua sede sulla coperta della nave.

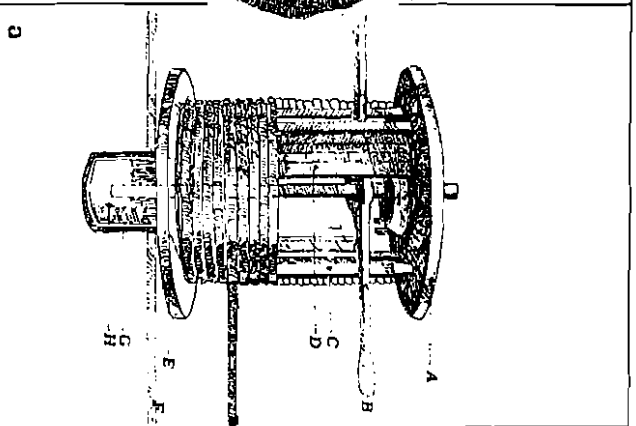
La protuberanza centrale della RUOTA poteva essere destinata all'incasso in un tamburo ligneo racchiuso da quattro sbarre verticali (FIG. 24/a).

L'argano poteva avere svariati impieghi a bordo. Ad esempio quello di sostenere il cavo dell'ARTEMO che nelle navi onerarie aveva la funzione di bigo di carico.

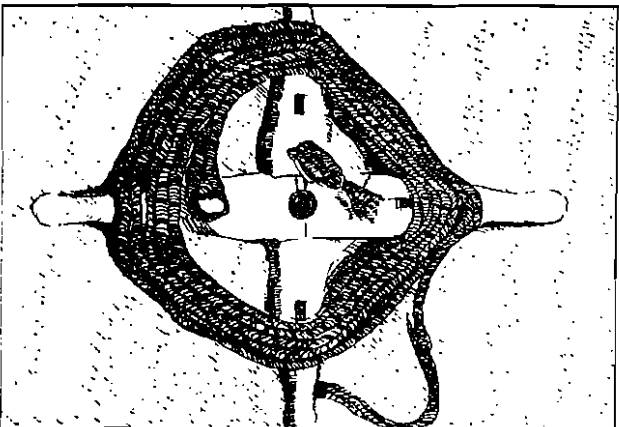
A



B



C



D

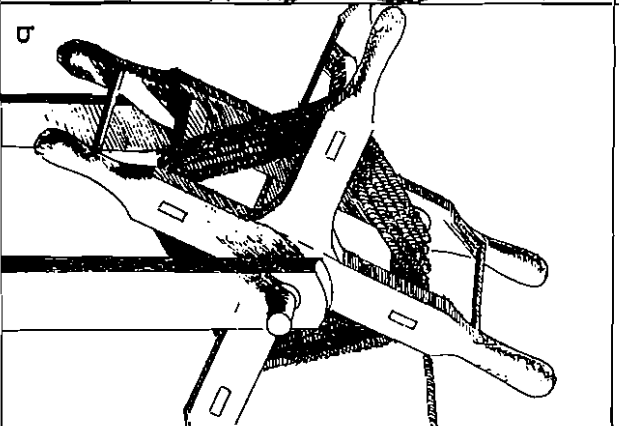


FIG. 24

A) «Ruota di manovra» della nave di Albenga.

a) Ipotesi di ricostruzione:

A) Ruota di piombo (di cui alla fig. 24/A).

B) Leve C) Barre di ferro

D) Tamburo ligneo di rivestimento

E) Rota lignea di base F) Piano coperta nave

G) Invaso con boccola di bronzo.

H) Perno di legno con rivestimento di bronzo.

B) Arganello da Ercolano.

b) ricostruzione.

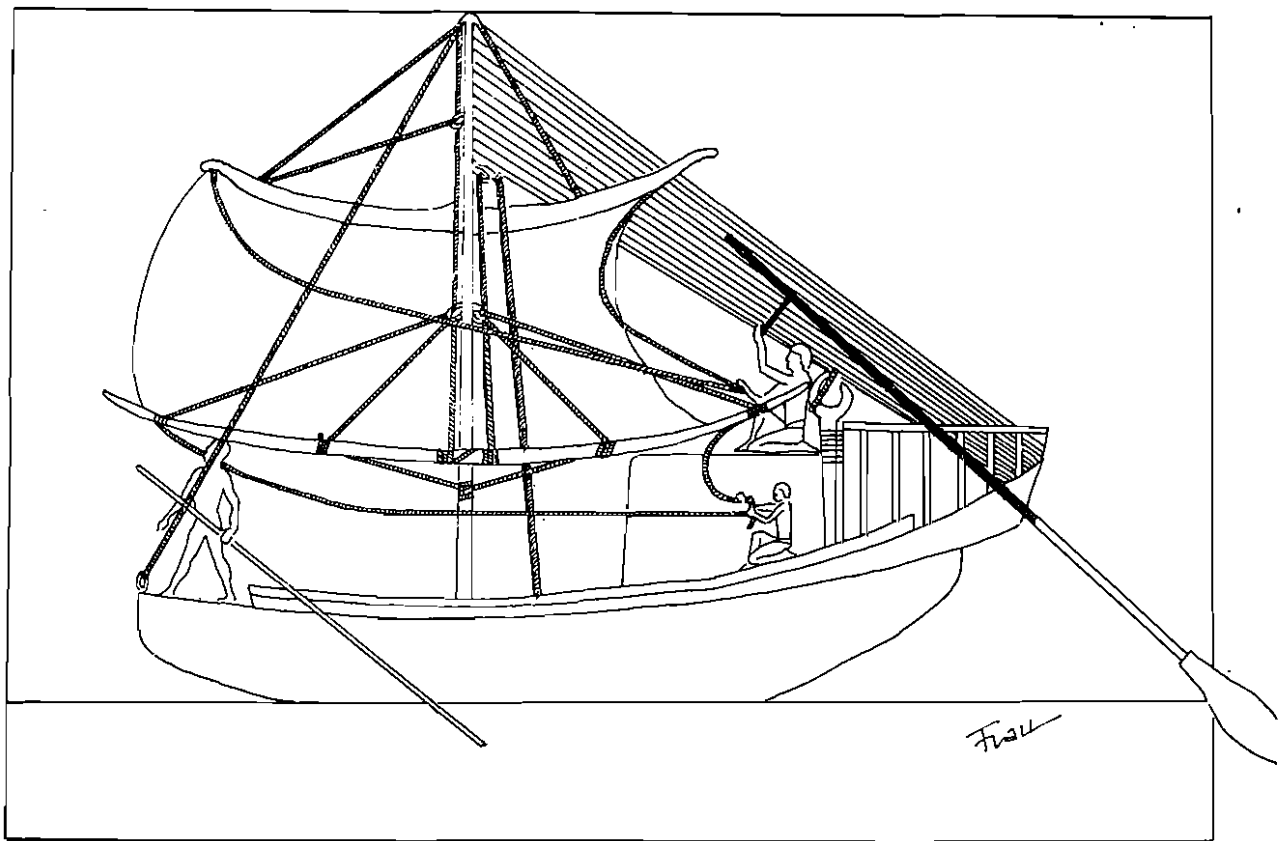


FIG. 25
Velatura e manovra in una nave egizia del 26° sec. a.C. Da un bassorilievo egizio della tomba di Ipyu a Saqqara.

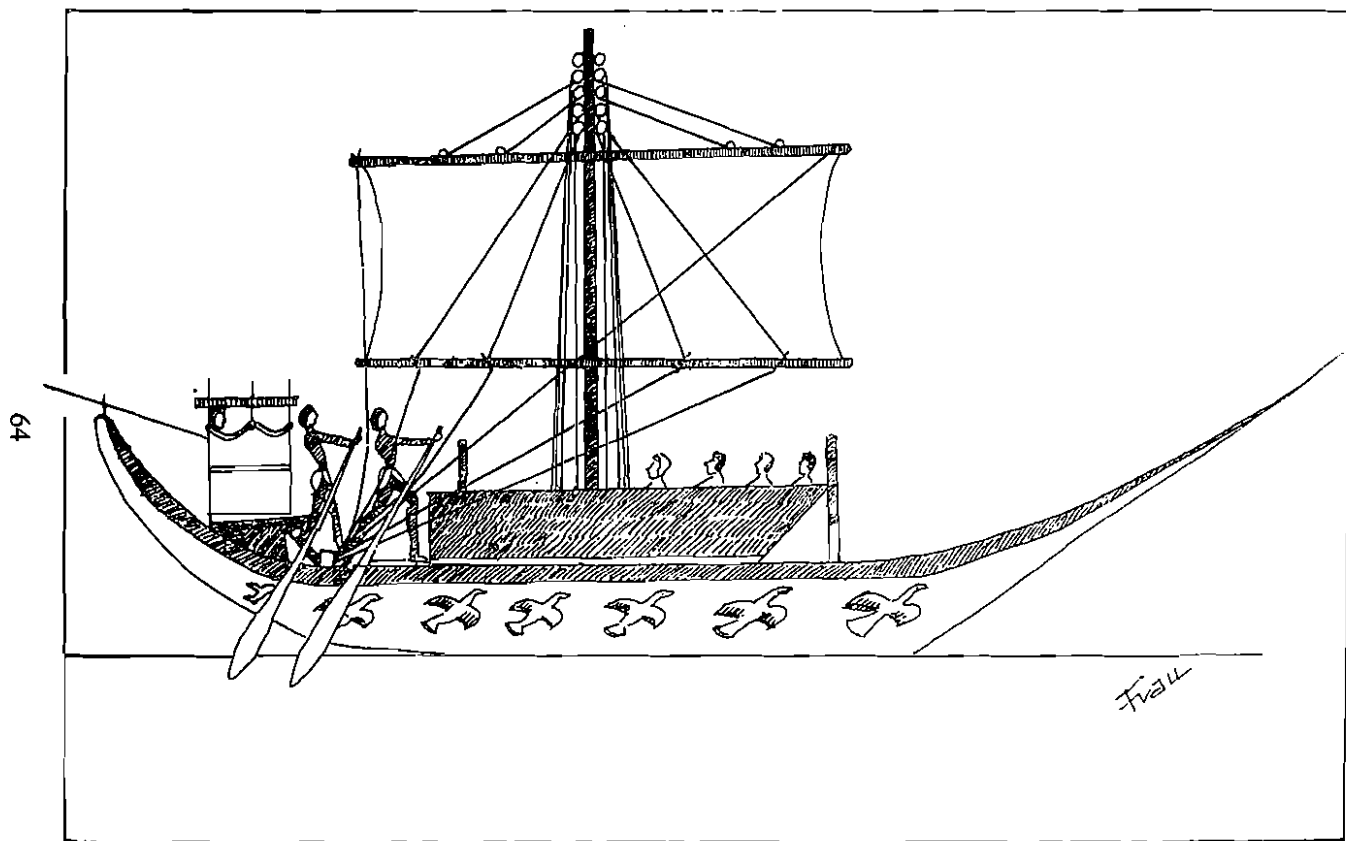


FIG. 26

Velatura e manovra in una nave cretese del 15° sec. a.C. da un affresco di Santorini.

MANOVRE E SOLLEVAMENTO DEI PENNONI NAVALI (XXVI e XV sec. a.C.)

Due sorprendenti esempi di tecnica navale per le manovre delle vele sono riportati su un rilievo egizio e su un affresco dell'isola Santorini.

Il primo è del 2500 a.C. circa ed è il rilievo della tomba di Ipuy a Saqqara (FIG. 25). In esso è rappresentata una nave a vela con due pennoni manovrati con drizze governate a poppa.

Il pennone superiore governato dal timoniere sistemato su un ponte poppiero rialzato a fianco della gruccia sulla quale poggiava l'albero maestro bipode quando era abbassato e quello inferiore governato da un secondo a da un aiuto alla manovra sistemato in posizione più bassa sulla coperta di poppa. L'unico albero era sorretto da stragli e non aveva bisogno di sartie essendo l'albero bipode e quindi già equilibrato in senso trasversale. Numerosi paterazzi sostenevano i pennoni a dei grossi anelli.

Anche altre due navi egizie a vela e remi del 1500 cca a.C. sul bassorilievo illustrante la spedizione al paese di Punt, organizzata dalla regina Hasepsoue, mostrano una velatura ed un sistema di manovra non molto dissimile, anche se più complesso.

Ma l'esempio della nave Santorini negli affreschi recentemente scoperti ad Akrotiri, del 1400 a.C. ca (FIG. 26) (cioè prima dell'esplosione del vulcano), effigiata con due pennoni, un comandante e due timonieri mostra ed aggiunge forse una grossa novità: dieci *carrucole* in cima all'albero maestro, di cui otto per la manovra dei pennoni. La disposizione delle corde in entrata ed in uscita confermerebbe questa ipotesi che se valida anticiperebbe notevolmente i tempi di apparizione di questo congegno tecnico del quale fino a poco tempo fa la nascita veniva fissata soltanto al V/IV sec. a.C.

Non ho potuto avere la datazione della carrucola in bronzo al Museo Nazionale di Atene per le opportune comparazioni.

Pierre Ducassè in « Histoire des Techniques » Paris 1958 ritiene che la carrucola fosse usata in Egitto già prima dell'uso della ruota, verso il 3000 a.C.

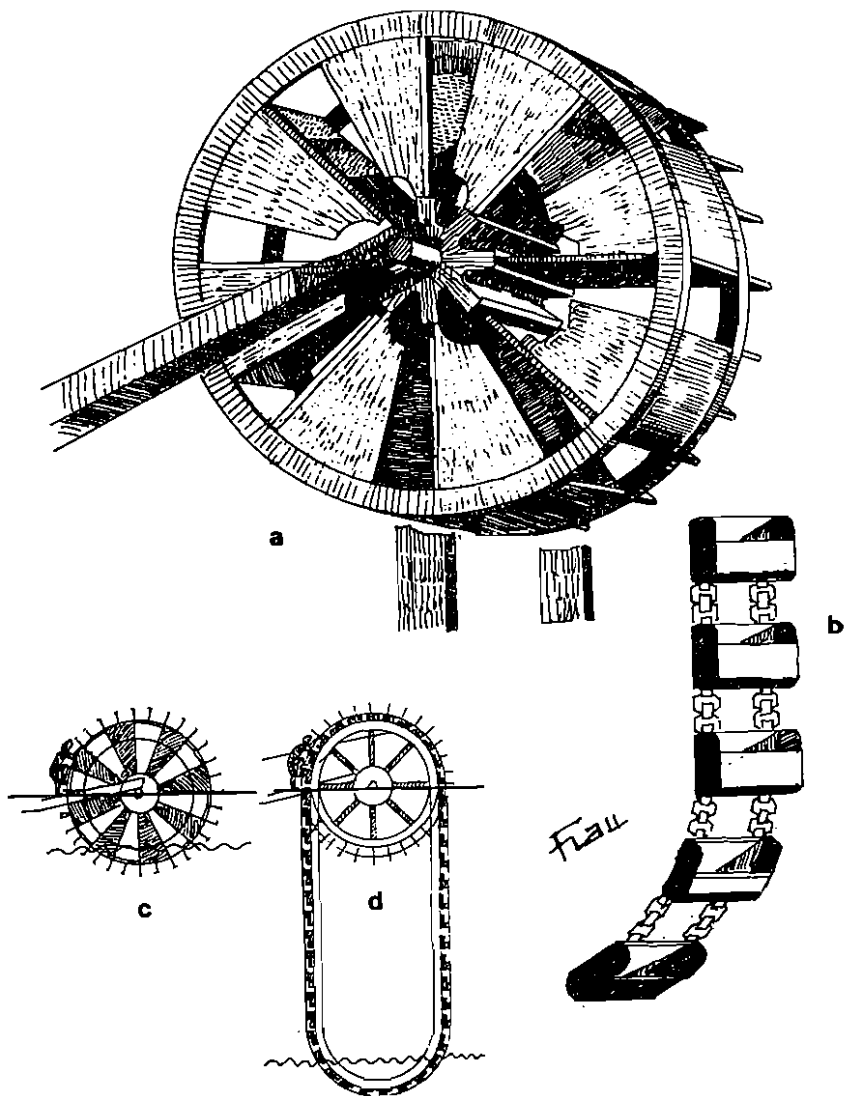


FIG. 27

Il timpano di Vitruvio nelle due versioni con o senza noria.

a) c) Ruota idraulica.

b) I secchi della ruota a noria.

d) La noria idraulica.

MACCHINE PER IL SOLLEVAMENTO DELL'ACQUA

Indubbiamente i grandi imperi del medio oriente svilupparono, per ragioni di necessità, la tecnica di raccolta, di distribuzione, di sollevamento dell'acqua ma è anche certo che i greci furono loro buoni imitatori.

Per fare due soli nomi è sufficiente ricordare Eupalino di Megara (56) che fu il primo grande ingegnere idraulico e Archimede, massimo teorico della macchina idraulica e non solo di essa.

Ho già trattato (57) delle pompe di Ctesibio per il sollevamento meccanico dell'acqua ed ora accennerò a tre macchine particolari: il timpano, la chiocciola ed il mulino ad acqua.

Loro progenitori sono da considerare lo SCIADUF usato in Mesopotamia fin dal 3000 a.C. ed in Egitto dal 1500 a.C., la VITE SENZA FINE di Archimede e più recente la SAQUIAH o Ruota Persiana che si riallaccia al Timpano descritto da Vitruvio e che Vitruvio doveva ben conoscere.

Occorre ricordare anche l'eccezionale importanza che la idraulica aveva nel mondo etrusco. Questo popolo creò opere idrauliche di eccezionale valore sin dal VI sec. a.C.

Scuole etrusche per la formazione di periti idraulici (EQUALICES) erano conosciute ed apprezzate in Roma e non solo in Roma.

Dalle macchine cui accenno deriveranno anche alcune macchine per lo sfruttamento delle miniere. In una miniera di Rio Tinto (Spagna), l'acqua veniva sollevata ad un'altezza complessiva di quasi trenta metri, con l'impiego di otto coppie successive di ruote azionate da mulini a timpano.

(56) progettò e costruì nel VI sec. a.C. l'acquedotto di Samo.

(57) Note di Tec. Mecc. Ant. Pompe ed Organi musicali - GAR Roma.

La ruota idraulica divenne, dice Agricola (58) la normale fonte di energia per l'uso di ingranaggi e bindoli per carichi pesanti nei pozzi e nelle miniere, per il drenaggio e per la ventilazione delle stesse.

Lo stesso Agricola descrive ben sei diversi tipi di « norie ».

IL TIMPANO (FIG. 27)

Dice Vitruvio (59) che questa macchina non può trasportare l'acqua molto in alto ma ne attinge speditamente una gran quantità. In effetti poi suggerisce un sistema composito di timpano e noria per sollevare l'acqua a grande altezza o per pescarla a gran profondità. Acqua per irrigare i campi oltre che per sciogliere il sale nelle cave di salgemma.

Si costruisce dunque — possibilmente al tornio — un asse circolare, coprendone le teste con lamine di ferro. Intorno a questo asse si fabbrica, con tavole di legno insieme connesse, un timpano. Il tutto, poggia su due sostegni che, là dove reggono l'asse vanno ugualmente coperti con lamine di ferro. All'interno del timpano vanno poste otto tavole trasversali dall'asse all'orlo della ruota: si otterranno così otto settori circolari uguali. Sulla fronte del timpano si inchiodano delle tavole, lasciando delle aperture di 1/2 piede (15 cm.) per far entrare l'acqua. Lungo l'asse si scavano dei piccoli canali, uno per ciascun settore. La macchina, dopo essere stata impeciata come si fa per le navi, può essere azionata a piedi dalla manodopera: l'acqua che entra in essa per mezzo delle aperture lasciate sulla fronte del timpano esce poi per i canaletti scavati lungo l'asse. Qui, al di sotto, si pone un secchio di legno comunicante con un condotto. In questo modo si può attingere una gran quantità d'acqua per irrigare i campi o per sciogliere il sale nelle cave di salgemma.

Se è necessario trasportare l'acqua ad un'altezza maggiore si può usare un sistema analogo. La ruota intorno all'asse dovrà però essere abbastanza grande da arrivare fino al piano cui si vuol portare l'acqua. Tutto intorno alla circonferenza si inchiodano allora dei piccoli secchi di forma quadrata, resi impermeabili con cera e pece. Quando la ruota

(58) George Bauer (1494-1555).

(59) Vitruvio, De Arch. Lib. Lib. X, 4.

sarà azionata a forza di piede dalla manodopera, i secchi giungeranno al sommo del loro giro pieni d'acqua, ma poi nel tornar giù, riverseranno il loro contenuto in un condotto.

Dovendo rifornire d'acqua un luogo situato ancora più in alto, si fisserà sull'asse di una ruota del tipo descritto una doppia catena di ferro, lunga abbastanza da poter scendere fino al luogo da cui si dovrà attingere. In fondo a questa catena saranno appesi dei secchi di bronzo della misura di un congio (circa lt. 3,25). Facendo girare la ruota, la catena si avvolgerà sull'asse, traendo in alto i secchi: giunti sopra l'asse questi saranno costretti a rovesciarsi, riversando in un condotto quell'acqua di cui si saranno riempiti (59).

Una interessante ricostruzione della DOPPIA RUOTA ACQUARIA fu esposta al Museo della Civiltà di Roma e riprodotta dall'Ing. Luigi Jacono. Essa in sei ore riforniva le Terme Stabiane di Pompei, di tutta l'acqua occorrente per i servizi. Era composta da una ruota motrice verticale (INCULTRUM) che muoveva una ruota ad ingranaggio e che muovendo altre due ruote adiacenti provocava l'inversione del moto di rotazione equilibrando la azione del peso dell'acqua. Le due ruote portavano le due coppie di catene acquaiole munite di secchi di rame (SITULI AENEI) che sollevavano l'acqua da un pozzo fondo 25 metri. L'energia motrice di queste macchine era fornita da uomini che montavano (CALCANTES) sopra pioli orizzontali incastrati alla periferia della ruota motrice.

I MULINI AD ACQUA

Questo apparecchio (Fig. 28) ha assunto un tale sviluppo attraverso un arco di tempo di oltre venti secoli che di esso può dirsi che sia stato l'apparecchio di maggior diffusione mai prodotto dalla civiltà per il grande uso che di esso vien fatto sino ai giorni nostri.

Sembra che lo scorrere lento dei fiumi della Mesopotamia e dell'Egitto non abbia promosso la sua creazione prima dell'av-

(60) Thomas K. Derry e Trevor I. Williams « A Short History of Technology » - Oxford 1960.

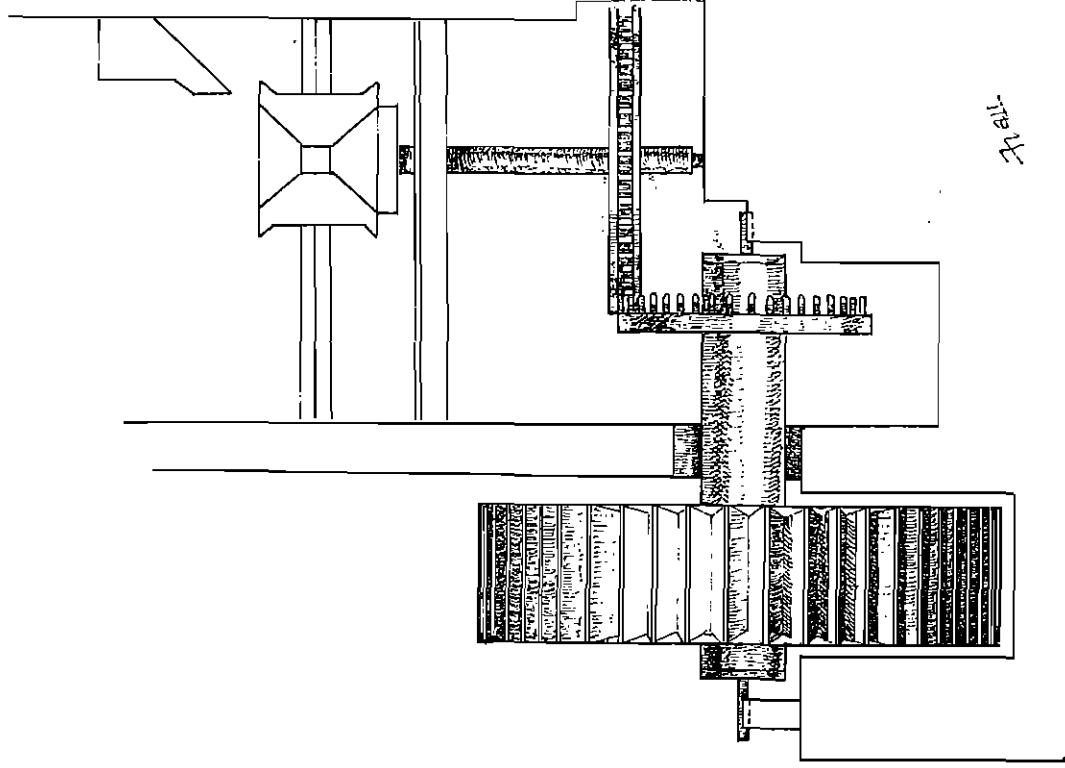


FIG. 28

Mulino idraulico romano a ingranaggi secondo Vitruvio (ricostruz. Usher).

vento della civiltà greco-romana ma anzi che la sua invenzione debba attribuirsi ai popoli nordici.

La ruota idraulica vitruviana, dalla quale fu derivato il mulino idraulico con asse orizzontale e ruota verticale, è — come dicono Derry & Williams (60) — essenzialmente una « ruota a tazze » che funziona in modo contrario. Progettata per la macinazione del grano, la ruota era collegata alla macina mobile per mezzo di ingranaggi lignei, che generalmente, davano una riduzione di giri di circa 5:1.

E' difficile calcolare la potenza di tali molini, essa può, tuttavia, essere approssimativamente dedotta dalla loro produzione. Un mulino romano a Venafro, del tipo di quelli alimentati da di sotto, con ruota dal diametro di circa due metri, poteva macinare circa 180 kg di grano all'ora. Questo lavoro corrisponde, nella moderna valutazione, a circa tre cavalli-vapore.

In confronto, un mulino azionato da un asino o da due uomini poteva a malapena macinare 4,5 kg all'ora.

Dal IV sec. d.C. nell'Impero Romano furono installati mulini ad acqua di notevoli dimensioni.

A Barbegal, vicino ad Arles, per esempio, verso il 310 d.C. venivano usate per la macinazione del grano sedici ruote alimentate per di sopra, che avevano un diametro, alcune di circa m. 2,70, altre di poco meno d'un metro. Ciascuna di esse azionava attraverso ingranaggi di legno, due macine: la capacità di macinazione complessiva era di 3 tonn. all'ora, sufficienti al fabbisogno d'una popolazione di 80.000 abitanti, e poiché la popolazione di Arles a quei tempi non superava i 10.000 abitanti circa, è chiaro che questo mulino serviva una vasta zona.

Contrariamente a quanto potrebbe apparire, il mulino di Vitruvio non fu quasi mai usato fino al 3° o 4° sec. d.C. per fattori economici vari quali « lo scarso incentivo ad accollarsi il necessario impiego di capitale » stante la disponibilità di mano d'opera a poco prezzo. Lo stesso imperatore Vespasiano (69-79 d.C.) osteggiò l'impianto di mulini ad acqua temendo ripercussioni sul mercato delle braccia.

Furono anche inventati mulini galleggianti; l'autore anonimo del DE REBUS BELLICIS, vissuto verso il 370 d.C. propose un espediente di quel genere.

Per la diffusione del mulino ad acqua nel medioevo riporto quanto scrivono T. K. Derry e T. I. Williams, già citati:

Sebbene la macinazione del grano fornisse il maggior impulso allo sviluppo della ruota idraulica, questa fu largamente usata in Europa durante il Medioevo per una grande varietà di usi industriali; il Domesday Book, per esempio, menziona non meno di 5624 mulini ad acqua situati, in Inghilterra, a sud del fiume Trent, la maggior parte dei quali di tipo vitruviano. L'energia idraulica venne usata per azionare segherie, follatoi, frantoi di minerali, mulini a pestelli per la lavorazione dei metalli, mulini per alimentare i mantici delle fornaci, e per una grande varietà di altri congegni, ed ebbe una grande importanza sulla distribuzione geografica dell'industria (61).

Ma torniamo a Vitruvio (62):

Sulle loro fronti (delle ruote) si fissano delle palette, che, spinte dalla corrente, mettono in moto la ruota a cui si applicano dei secchi che attingono l'acqua e la trasportano in alto. Sfruttando la sola forza della corrente; questo tipo di macchina riesce dunque a fornire l'acqua necessaria, senza impiego di manodopera.

Con la stessa tecnica funzionano anche i mulini ad acqua, che sono del tutto uguali; l'unica differenza è che ad uno dei capi dell'asse è fissata una ruota dentata, che, posta perpendicolarmente all'asse stesso, vi gira insieme. Accanto a questo timpano maggiore ce ne deve essere un altro, anch'esso dentato, e collegato al primo, ma disposto orizzontalmente. Così il timpano dentato che sorge sull'asse, spingendo per mezzo dell'ingranaggio l'altro timpano orizzontale, mette in moto la macina, mentre una tramoggia appesa in alto, somministra il frumento alla mola.

In questo modo si macina il frumento.

LA CHIOCCIOLA (COCLEA)

Derivata dalla VITE SENZA FINE di Archimede la COCLEA (Fig. 29) serviva a trasportare una gran quantità d'acqua ad una altezza che però resta inferiore a quella della ruota.

(61) Thomas K. Derry e Trevor I. Williams in op. cit.

(62) Vitruvio, op. cit. lib. X, 5.

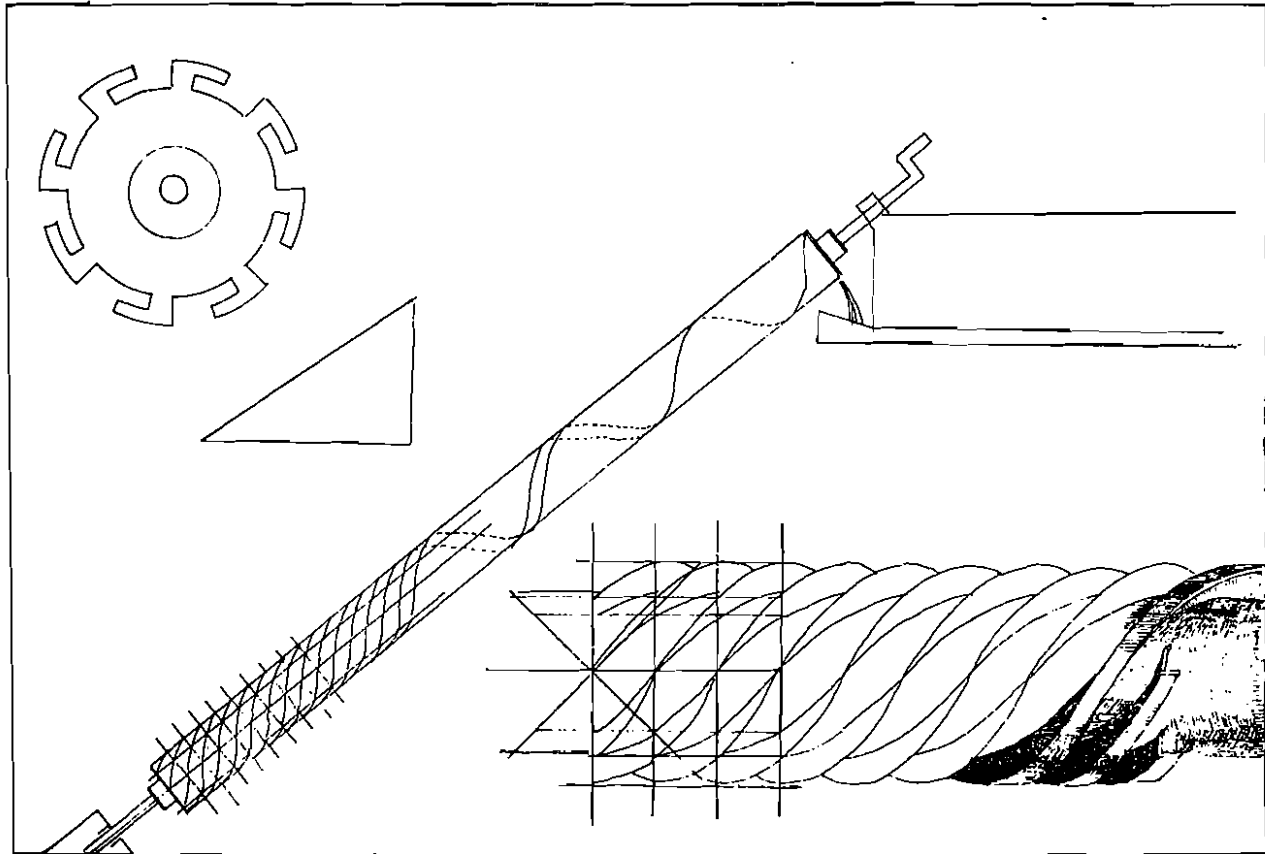


FIG. 29
La coclea (chiocciola) di Archimede secondo Vitruvio.

Di essa Vitruvio (63) dà la consueta dettagliata descrizione che risulterà più evidente se confrontata con la ricostruzione e che riporto anch'io, come di consueto, per verificare nel dettaglio il procedimento di costruzione ma soprattutto per una analisi tecnica dei vari componenti dell'impianto: così l'uso di supporti di ferro di forma circolare nel quale ruota il perno della COCLEA, il rivestimento della testata inferiore del perno che ruota nella sede anch'essa metallica (probabilmente di bronzo come per gli assi degli argani verticali), l'impiego di pece e lamiera per l'impermeabilizzazione e la tenuta della COCLEA, l'impiego di listelli di salice per condurre la guida elicoidale attorno all'asse, ecc.

La raffigurazione, forse l'unica, della COCLEA, finora pervenutaci si trova nella casa dell'Efebo a Pompei. Essa riproduce la « chiocciola » così come è descritta da Vitruvio, o quasi, Un tamburo ligneo cilindrico inclinato su cui sono avvolti elicoidalmente dei condotti lignei.

Essa si costruisce nel seguente modo. Si prende una trave che deve misurare tanti piedi in lunghezza quanti pollici in grossezza e la si rende di forma esattamente cilindrica. Col compasso si dividono le due basi circolari in quattro od otto parti, avendo cura che, una volta disposta la trave orizzontalmente, le linee tracciate sulle due testate si corrispondano esattamente.

La trave va quindi divisa nel senso della lunghezza in spazi uguali ad un ottavo della circonferenza. Dispostala poi in piano, si tracciano da un estremo all'altro delle linee parallele. Si otterranno così spazi uguali delimitati sia in lunghezza che circolarmente. Si segnano allora i punti di intersezione delle parallele con le circonferenze. Dopo aver accuratamente marcato questi punti, si prende un listello flessibile di salice e, bagnatolo nella pece liquida, lo si fissa sul primo punto di intersezione. Da qui lo si fa proseguire obliquamente, passando per gli altri punti di incontro delle linee diritte e di quelle circolari, fino a giungere all'ottavo punto — che giacerà sulla stessa linea parallela di quello di partenza — dopo aver compiuto di tratto in tratto un giro completo della trave. Man mano,

(63) Vitruvio, op. cit. lib. X, 6.

insomma, che si sposta obliquamente attraverso gli otto punti, il listello procede anche nel senso della lunghezza, il cui spazio avrà interamente coperto quando sarà arrivato all'ottavo punto. Con metodo analogo si fanno passare degli altri listelli dello stesso genere obliquamente attraverso tutte le intersezioni di linee diritte e circolari, cominciando dagli otto punti in cui è stata divisa la circonferenza di base: si otterranno altrettanti canali disposti a spirale, ad imitazione della naturale struttura di una chiocciola.

Sopra questi listelli ne vanno fissati degli altri, sempre uniti di pece, disponendoli l'uno sull'altro, finché il diametro massimo sia uguale ad un ottavo della lunghezza. Sopra di essi, tutto attorno, vanno fissate delle tavole a proteggere la spirale. Queste tavole devono essere impiegate e tenute ben fermate da lamine di ferro per impedirne il deterioramento da parte dell'acqua. Anche le estremità della trave devono essere ferrate. A destra ed a sinistra della chiocciola si collocano delle altre travi con delle traverse inchiodate sulle loro teste da una parte e dall'altra. Qui si fissano dei supporti di ferro di forma circolare entro i quali si inseriscono i perni della chiocciola che azionata dalla spinta dei piedi degli operai potrà così girare.

La macchina va disposta obliquamente e la pendenza si calcola in base al teorema di Pitagora relativo al triangolo rettangolo: divisa in cinque parti la lunghezza della trave, l'altezza della testa superiore dovrà misurarne tre, la distanza fra la testa inferiore e la perpendicolare che passa per l'estremità opposta quattro.

STRUMENTI DI LIVELLO

Includendo in questo quaderno, a mo' di appendice questo capitoletto sugli strumenti di livello, ma esso in una futura sistemazione di queste NOTE dovrà essere abbinato alla trattazione degli strumenti di calcolo (64) unitamente alle note sul MESOLABIO incluse nel quaderno n. 17 (65). Accennerò brevemente (il vero scopo è quello di riportarne una ricostruzione) alle diottre (DIOPTRAE), al corobate (CHROBATES) ed alla groma (GROMA).

La DIOTTRA (FIG. 30) « è uno strumento topografico che serve a determinare una visuale rettilinea. In una forma semplice si compone di una sbarretta metallica di alcuni decimetri di lunghezza, che porta alle estremità due piastrine; una di queste, alla quale si applica l'occhio, ha un forellino, l'altra ha una finestrella quadrata con una croce di fili sottili ». Noi la vediamo effigiata nella forma ancora più semplice nell'ALIDADA punico con cono girevole su una base azimutale fissa graduata: il cosiddetto SEGNO DI TANIT (66) o nel TRAGUARDO DI ERONE montato su un supporto ad asse verticale girevole per poter ruotare la visuale attorno al punto di stazione (67). Esso munito di un circolo azimutale utilizzava una vite senza fine ed un settore circolare dentato secondo la ricostruzione del Venturi (68). (FIG 30/D).

Per definire il funzionamento e l'uso del TRAGUARDO (da quello di ERONE a quelli punico: i cosiddetti SEGNI DI TANIT), specie a bordo di navi, io penso si possa far riferimento al sistema usato da Eratostene per determinare distanze ed angoli e basato sul calcolo del quarto proporzionale.

(64) B. Frau, Strumenti di calcolo, quad. 13 GAR Roma.

(65) B. Frau, Pompe ed organi musicali, quad. 17 GAR Roma.

(66) B. Frau, Strumenti di calcolo quad. 13 GAR Roma, rispett. pag. 57.

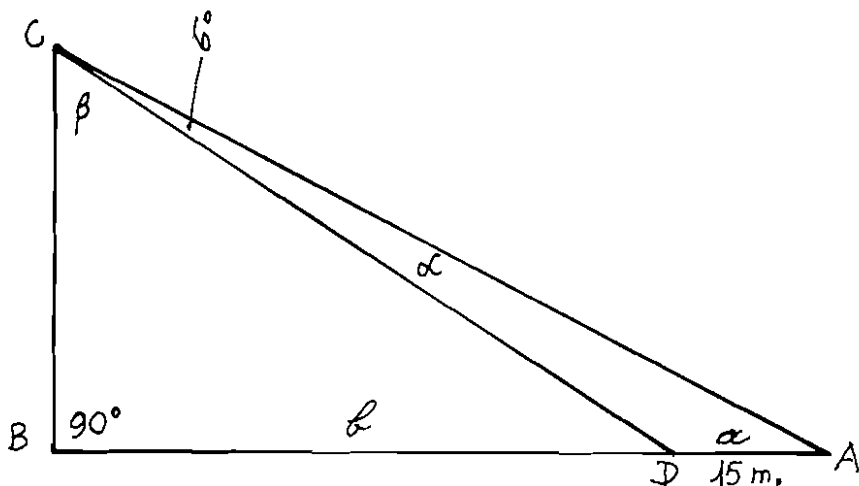
(67) Idem pag. 60.

(68) Idem pag. 24.

Dato il triangolo A B C in cui B sia retto, diviso da un segmento DC noi avremo la seguente proporzione:

$$AD : DB = \hat{A}CD : \hat{DCB}$$

Per semplificare, riferendoci alla figura $a:b = \alpha:\beta$



Ebbene poniamo AB = la rotta di una nave, BC = la costa da raggiungere, C = un punto sulla costa da rilevare.

Poniamo ancora AD (a) il percorso effettuato (diciamo 15 miglia) a cavallo di due rilevamenti in base ai quali si è calcolato $\hat{A}CD (\alpha) = 6^\circ$, ebbene noi possiamo calcolare in 143 miglia

la distanza da percorrere per raggiungere la costa. Cioè $\hat{A}CD :$
 $: 15 = \hat{D}CB : x$

$$\text{cioè } 6^\circ : 15 = 57^\circ : x$$

$$\text{da cui } x = (15 \times 57) : 6 = 143 \text{ miglia}$$

L'angolo $\hat{D}CB$ si ottiene con il secondo rilevamento fatto al punto D. Infatti il traguardo darà per $\hat{B}DC 33^\circ$ ed essendo supposto $\hat{D}BC = 90^\circ$ per differenza $(180^\circ - 90^\circ - 33^\circ)$ l'angolo $\hat{B}CD$ risulterà di 57° .

Certamente i comandanti delle navi non procedevano in questo modo, infatti mentre il punto della costa e le varie an-

golazioni potevano essere rilevati col TRAGUARDO spostando l'alidada e leggendone lo spostamento in gradi, il calcolo meccanico poteva essere effettuato con il MESOLABIO (65), strumento da me già descritto, in uso nel V sec. a.C. che consentiva di trovare meccanicamente anche due medie proporzionali (x, y) da inserire fra due sementi dati (a, b) e con maggior facilità una proporzionale semplice.

Per l'impiego notturno era certo l'uso dell'astrolabio e forse, stando ad una certa interpretazione della stele di Lilibeo, anche del sestante.

Del COROBATE dice Vitruvio (69) (FIG. 31):

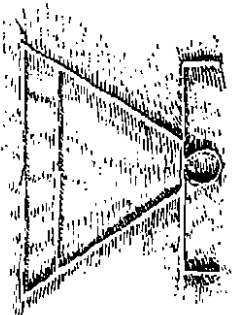
Il corobate (che fra gli strumenti di livello è il più esatto), dunque, è una tavola lunga circa 20 piedi (circa m. 5,90). Alle estremità presenta due bracci esattamente uguali incastrati ad angolo retto.

Fra la tavola ed i bracci vi sono delle traverse tenute insieme da perni. Sulle traverse devono essere segnate delle linee esattamente perpendicolari, mentre dalla tavola devono pendere due fili a piombo, uno per parte. Una volta piazzato lo strumento se i due fili toccheranno insieme ed esattamente le linee segnate, lo strumento sarà in posizione perfettamente orizzontale.

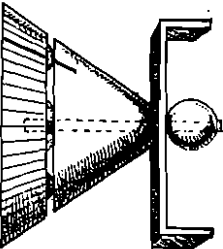
Tuttavia il vento potrebbe provocare degli spostamenti ed impedire una esatta misurazione. Per ovviare a questo inconveniente si scavi nella parte superiore della tavola una scanalatura lunga 5 piedi (cm. 15 circa), larga un pollice (cm. 1,85), e profonda un pollice e mezzo (cm. 2,78), quindi la si riempia di acqua: quando l'acqua sfiorerà ugualmente da una parte e dall'altra i margini di questo canaletto, lo strumento sarà esattamente a livello. Quando si sarà fatta la livellatura con il corobate, si conoscerà l'esatta caduta.

Chi ha letto i libri di Archimede potrebbe obiettare che non è possibile una esatta misurazione del livello dell'acqua, inquanto — secondo la tesi di questo scienziato — la superficie dell'acqua non è esattamente piana, ma della

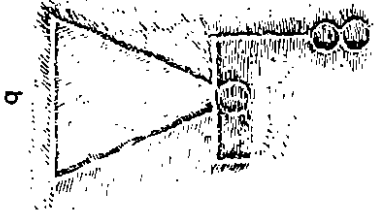
(69) Vitruvio, De Arch. Lib., VIII, 5.



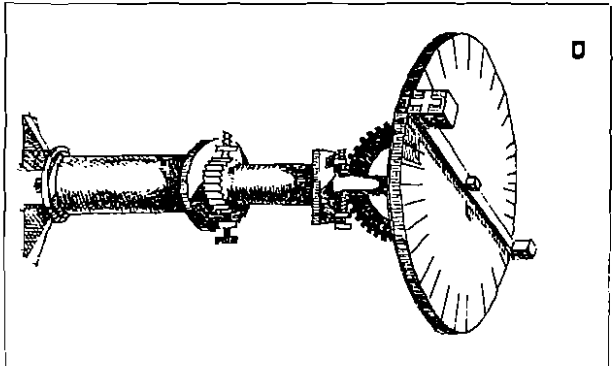
A



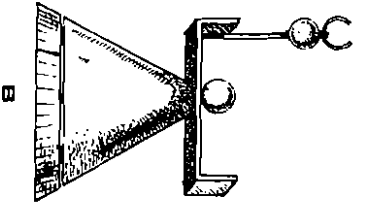
B



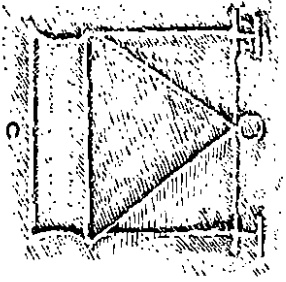
C



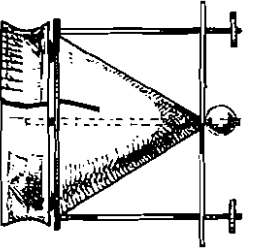
D



E



F



G

mf

FIG. 30

La diottra ed i traguardi.

D) Il traguardo con diottra, alidada ecc., secondo Erone (ricostruzione Venturi).

a) Incisione su stele punica da Cartagine (cosiddetto idolo di Tanit).

A) Interpretazione della stessa: traguardo con alidada cono e cerchio azimutale (sec. Mario Pincherle).

b) Incisione su stele punica (tratta da «Le stele puniche» di A. M. Bisi - Tav. XXVI, 2).

B) Interpretazione della stessa: traguardo con alidada, cono e caduceo-bussola (sfera con sovrapposta calamita).

c) Incisione su stele punica (tratta da «Le stele puniche» di A. M. Bisi - Fig. 7/o).

C) Interpretazione della stessa: traguardo con alidada regolabile a mezzo di viti, cono girevole insieme con alidada, base azimutale a fascia concava.

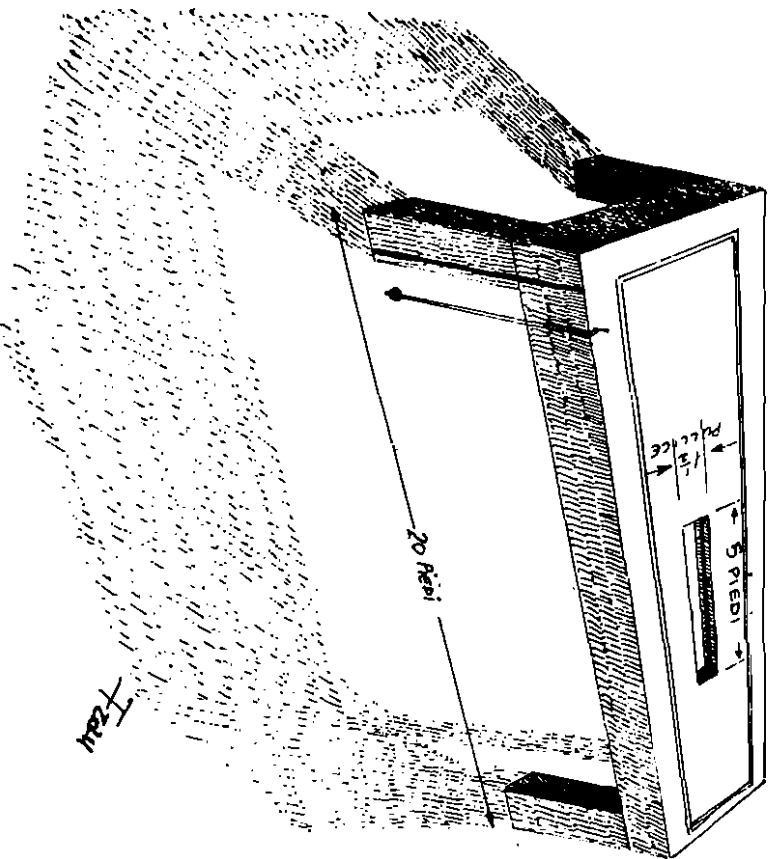


FIG. 31

Il corobate, secondo Vitruvio.

forma di una sfera il cui centro coincide con il centro stesso della terra. Ma tanto che l'acqua abbia superficie piana quanto sferica, è comunque necessario che sia sostenuta ugualmente dalla tavola ad entrambe le estremità del canaletto: se lo strumento fosse infatti disposto obliquamente, la parte più alta della scanalatura non potrebbe in alcun modo mantenere l'acqua a livello del proprio margine. Comunque si disponga l'acqua, potrà tutt'al più avere nel mezzo un rigonfiamento, ma ai margini, a destra ed a sinistra, sarà sempre allo stesso livello.

LA GROMA

Nel 1912 vennero alla luce a Pompei, nella Taberna-Officina del MENSOR Verus, gli unici frammenti di GROMA finora trovati. Questo strumento è stato oggetto di particolare esame da parte di Romolo de Caterini (70) e ricostruito dall'Arch. Frigerio (71). Era uno strumento di agrimensura usato per la ripartizione agraria delle terre ai coloni nei limiti di una assegnazione geometrica e sistematica — come dice il De Caterini — il cui elemento fondamentale era la CENTURIA. E CENTURATIO era la divisione di terre in appezzamenti uguali fra loro, definiti da un reticolato a lati perpendicolari in cui ogni maglia comprendeva originariamente cento heredia di due jugeri ciascuno; lo jugero essendo una area di (1×3) actus, pari a $35,48 \times 70,96$ mq, lungo cioè quanto era necessario per il redditizio lavoro di un bue all'aratro.

Ma ovviamente (era lo strumento principale dei GROMATICI) serviva a tracciare le linee decumane, i cardini delle città ecc.

Era costituito da due bracci uguali perpendicolari fra loro, imperniati su un'asta infissa nel terreno e portanti alle estremità quattro fili a piombo.

(70) Romolo De Caterini GROMATICI VETERES Piccola storia della tecnica e dei tecnici dell'antica Roma, 1935.

(71) Arch. Frigerio — ANTICHI STRUMENTI TECNICI — Genova.

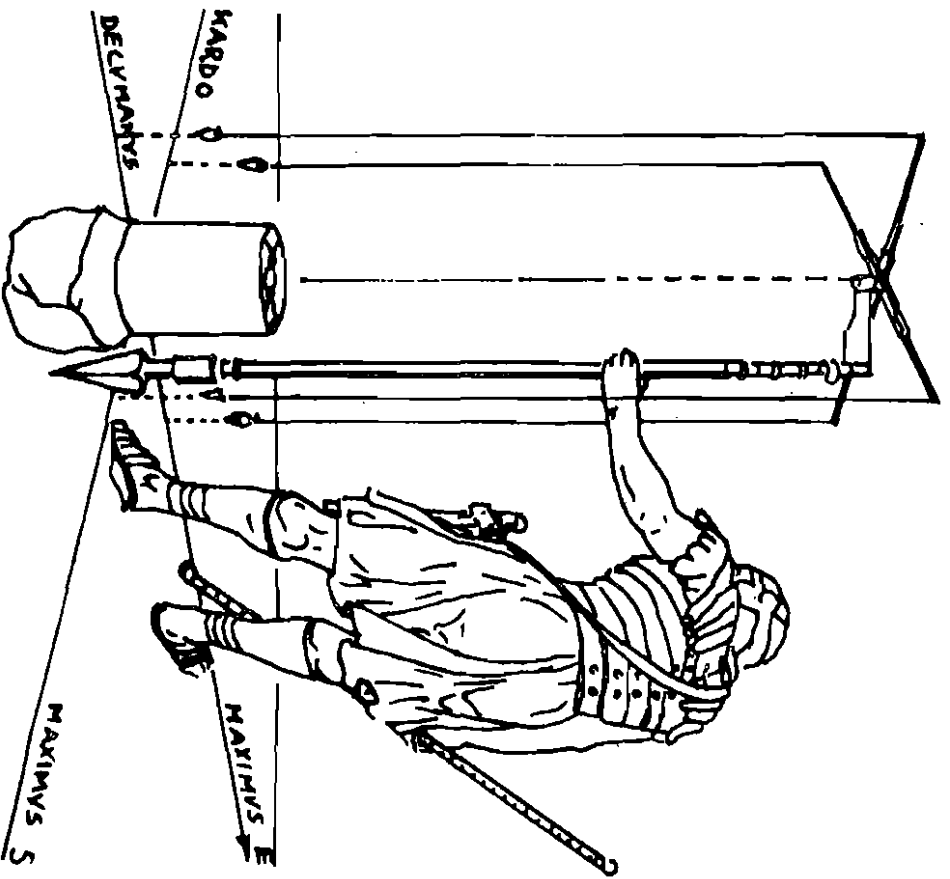


FIG. 32

La groma (ricostruz. arch. Frigerio).

Indice delle illustrazioni

- Fig. 1 La gru di Callia da Arado. 304 a.C.
» 2 Le « mani di ferro » di Archimede. 215-214 a.C.
» 3 Le « sambuche » nell'assedio di Siracusa del 215-214 a.C.
» 4 Funzionamento della gru di Callia e delle « mani di ferro » di Archimede.
» 5 Il « corvo » di Caio Duilio. 260 a.C.
» 6 I « legni corti » di Erodoto nella piramide di Cheope (2600 cca a.C.).
» 7 Polispaston monalbero mobile (da Vitruvio).
» 8 Bigo di carico moderno su nave mercantile.
» 9 Rapporto delle forze in un bigo di carico.
» 10 Argano verticale (I sec. a.C. - II sec. d.C.).
» 11 Pentaspaston a due argani (sec. Vitruvio).
» 12 Il pentaspaston con parithecion (o rota) della tomba degli Ateri (I-II sec. d.C.).
» 13 Le « taglie » di sollevamento nella nomenclatura greca.
» 14 a) b) Sistema di trasporto degli epistili da Chcsifronos (sec. Vitruvio).
c) d) e) f) g) Sistemi di sollevamento massi con mezzi meccanici.
» 15 Sistemi di sollevamento massi con uso di cavi.
» 16 Trispaston
» 17 Nave posamassi per la costruzione dei moli.
» 18 Nave battipalo per la costruzione di ponti - I sec. a.C. (da Cesare).
» 19 Schema generale degli impianti di sollevamento dell'Anfiteatro Flavio.
» 20 Gli ascensori per le belve nell'Anfiteatro Flavio secondo G. Cozzo.
» 21 Impianto ascensori in alcuni corridoi dell'Anfiteatro Flavio. Fase discesa ascensori
» 22 Impianto ascensori in alcuni corridoi dell'Anfiteatro Flavio. Fase risalita ascensori.
» 23 A) Bassorilievo con argano (I sec. d.C.) lavori per la costruzione del canale emissario del Fucino;
B) Impianti con argani ai pozzi dei campi Palentini (I sec. d.C.).
» 24 A) Ruota di manovra dalla nave di Albenga. a) Ipotesi di ricostruzione;
B) Arganello da Ercolano. b) ricostruzione.
» 25 Velatura e manovra in una nave egizia del 26° sec. a.C. da un bassorilievo egizio della tomba di Ipuv a Saqqara.
» 26 Velatura e manovra in una nave cretese del 15° sec. a.C. in un affresco di Santorini.
» 27 Il timpano idraulico di Vitruvio.
» 28 Mulino idraulico romano ad ingranaggi secondo Vitruvio (ricostruzione Usher).
» 29 La coclea (chiocciola) di Archimede (secondo Vitruvio).
» 30 La diottra ed i traguardi.
» 31 Il corobate secondo Vitruvio.
» 32 La groma (ricostruzione ing. Frigerio).