

P R E M E S S A

L'evoluzione dei mezzi di sollevamento ideati e prodotti dopo il IV sec. a.C. rimane strettamente legato allo sviluppo che alcune scienze ebbero in quei secoli quanto mai fertili di conquiste tecnologiche.

Lo sviluppo che si manifestò nello studio delle leggi fisiche determinò nella meccanica propriamente detta nonchè nell'edilizia, nella navigazione, nell'idraulica applicazioni di una importanza tale che per molti secoli a venire ne furono permeati mezzi, strumenti ed apparecchi.

Dall'impiego della carrucola, dell'ingranaggio, delle ruote multiple, delle catene, delle norie, dei ganci scaturirono apparecchi quali gli argani, i verricelli, le grue, gli ascensori, le navi battipalo, i timpani per il sollevamento dell'acqua, i mulini fluviali ecc. che dopo il II ed il III sec. d.C. rimarranno tecnicamente insuperati fino al 16° sec. ed oltre.

Alcuni di questi mezzi di trazione e di sollevamento sono qui appresso ricordati ed altri ancora descritti.

Di essi parlerò in dettaglio nei prossimi capitoli sulla scorta dei trattati di Vitruvio, delle notizie di Erodoto, Tucidite, Cesare ecc., delle raffigurazioni sui bassorilievi, dei numerosi resti degli impianti di sollevamento dell'Anfiteatro Flavio, di alcuni reperti ecc.

Basterà intanto sommariamente ricordare che tra il 305 ed il 304 a.C. furono impiegate a Rodi (1) grue girevoli in grado di sollevare pesi superiori alle 50 tonn. ma che già nel 2600 a.C. con la tecnica dei « legni corti », a detta di Erodoto (2), gli egiziani sollevavano massi da 100 tonn. a circa 70 metri di altezza.

Precedente eccezionale è anche la grue, ideata da Archimede,

(1) Vitruvio, De Arch. Lib. X, 16.

(2) Erodoto, Storie, Lib. II, 25.

impiegata nell'assedio di Siracusa del 215-214 a.C. (3). Eccezionale soprattutto per la potenza: era in grado di sollevare dall'acqua per alcuni metri la prua di una intera trireme. Eccezionale per la tecnologia impiegata: usava una « mano di ferro » che si apriva e chiudeva ora ad afferrare la prue di una nave ora a stritolare un gruppo di armati.

In precedenza apparecchi di sollevamento servirono a far calare i pali uncinati usati dagli ateniesi e dagli etruschi sulle navi siracusane nell'assedio del 413 (4) ed a far funzionare i « corvi » di Caio Duilio contro le navi cartaginesi nel 259, 260 a.C. (5).

Ma indubbiamente la massima sofisticazione fu raggiunta con l'introduzione del paranco (*machina*) a puleggie multiple ed a più ordini di carrucole. Mi riferisco ai POLYSPASTOS a 3 e 5 paranchi (TRISPASTOS e PENTASPASTOS) in grado di sollevare colonne ed obelischi. Usati nella versione monoalbero mobile in impianti fissi a terra o sulla coperta di navi da carico essi raggiunsero un notevole grado di funzionalità.

Nella versione pentaspaston con « ROTA » ed « ergata » raggiungevano dimensioni imponenti come si può desumere dal bassorilievo della « tomba degli Ateri » (6) e dal bassorilievo del Museo di Capua (7).

In tutti questi casi l'argano era impiegato orizzontalmente. Grossi argani orizzontali venivano anche impiegati negli impianti di sollevamento dei PEGMATA nel corridoio centrale dell'Anfiteatro Flavio (8).

In altri impianti dello stesso anfiteatro argani incorporati in pali verticali operavano come poderosi apparecchi di trazione e di essi le documentate tracce nell'anfiteatro dimostrano la capacità di sollevare dagli ipogei al piano dell'arena anche 60 gabbie contemporaneamente.

Secondo il Cozzo (9) altri ascensori muniti di contrappesi trasferivano contemporaneamente da 32 celle disposte lungo l'ellisse dell'arena, dagli ipogei al piano dell'arena le gabbie contenenti le belve.

(3) Polibio, Storie, Lib. VIII, 6-9.

(4) Tucidide, Storie Lib. VII, 62.

(5) Polibio, Le Storie Lib. I, 22.

(6) Rilievo dell'epoca di Domiz. al Museo Lateranense.

(7) Polispaston che solleva la colonna di un tempio.

(8) Vedi pag. 51.

(9) G. Cozzo, Ingegneria Romana, rist. '70 pag. 231.

Anche gli impianti di sollevamento rilevati sui Campi Palentini ed i relativi impianti per la costruzione della galleria per l'emissario dal Fucino al Liri ai tempi di Claudio, utilizzavano argani verticali muniti di timpano (TYMPANUM) per l'avvolgimento delle corde, e di argani a due leve.

Di tutti questi mezzi di sollevamento e trazione il PENTASTASTON a bigo mobile è di tale attualità che l'unico elemento che lo diversifica dai moderni bighi di carico sulle navi è solo la forza motrice che ne muove gli argani.

La puleggia alla base di questo bigo mobile, l'ARTEMO, darà poi il nome all'intero albero-bigo mobile a prua delle navi onerarie quale risulta raffigurato in numerosi bassorilievi (10).

Non va dimenticata la particolare tecnica impiegata per la costruzione dei grandi ponti sui larghi fiumi dell'Europa settentrionale a mezzo di navi battipalo » (11) e le probabili navi « posamassi » per la costruzione dei moli (12).

Rimane il discorso sul travagliato iter di queste conquiste tecnologiche attraverso i secoli.

Altrove ho ricordato gli orologi arabi dell'XI sec. d.C. costruiti sulla base degli analemmi di Vitruvio (13), il grande organo della cattedrale di Winchester con 400 canne di bronzo e 26 mantici derivato dall'organo idro-pneumatico di Ctesibio del III sec. a.C. (14), la bussola e la sua probabile derivazione dal caduceo punico (13). Ora ricorderò le pulegge in uso nel 15° secolo, i quaranta argani impiegati dal Fontana a piazza San Pietro, le grue di Bruges del 15° sec., tutti da raffrontare ad analoghe e similari attrezzature greco-romane.

Lo sviluppo su un piano pratico della scienza greca, che ebbe inizio nel IV sec. a.C., ebbe vita non molto lunga. Nè questo fine pratico, nella società ellenistica, fu sempre perseguito.

Dice Gordon Childe (15) che « la carenza dello sfruttamento produttivo delle invenzioni offerte dalla scienza era una conseguenza della struttura della società ellenistica e delle contraddizioni della sua economia » e prosegue: « Abbastanza stranamente,

(10) ad es. il bassorilievo da Portus del II sec. d.C.

(11) Cesare, De Bello Gall. Lib. IV, 17.

(12) Vedi pag. 43.

(13) B. Frau, Strumenti di Calcolo, GAR 13 Roma.

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

(15) G. Childe, Il progresso nel mondo Antico, Einaudi Roma.

a quanto pare a noi, le invenzioni meccaniche trovarono scarse applicazioni in pratica — salvo che nella guerra — durante l'età ellenistica. Apparentemente in quel periodo la forza dell'acqua non fu applicata ad alcuna industria tranne che alla macinazione del grano ».

« Analogamente non si può dimostrare che le invenzioni pneumatiche ed idrauliche di Ctesibio e dei suoi successori venissero applicate a scavare miniere o ad innaffiare giardini. Quelli che Erone descrive sono organi ad acqua, automi, giocattoli da salotto per divertire gli ospiti nei ricchi banchetti e congegni che nei templi servono a mistificare i creduloni ».

Quando questo eccezionale « exploit » di inventività ebbe termine, e si può dire che nel I sec. a.C. si era già esaurito, il mondo greco-romano e le successive civiltà mediterranee ed europee vissero per oltre 15 secoli sfruttando quelle conquiste.

« Architetti ed ingegneri romani — è sempre Gordon Childe che scrive — applicarono ed estesero procedimenti e tecniche ereditati dal mondo ellenistico e dall'Italia repubblicana, senza nessuna innovazione rivoluzionaria ».

Molte conquiste furono però dimenticate. Altre trasmigrarono verso l'oriente e riapparvero poi alle soglie dell'era moderna.

Con il trasferimento della capitale dell'Impero a Bisanzio « pare che l'umanità sia regredita dall'età greca del ferro all'età orientale del bronzo ».

Il compito di custodire e preservare ai posteri l'eredità culturale e tecnologica greca spettò agli Arabi ed alla Chiesa.

« La corrente sanguigna del vecchio corpo, arricchita di nuove esperienze sistemate dagli Arabi, era stata trasfusa in nuove vene in Europa attraverso le provincie moresche della Spagna e della Sicilia.

D'altra parte la Chiesa tenne vivi non soltanto i dogmi ed i riti del Cristinesimo ma anche le tecniche delle scritture e della numerazione, il rispetto per precise divisioni convenzionali del tempo e macchine per la loro determinazione (orologi).... memorie di medicina razionale e di agricoltura scientifica ».

Così le conquiste dell'astronomia, dell'ottica, della meccanica, dell'aritmetica applicata, dell'armonia ecc. riemersero per loro merito dal buio dell'evo medio e crearono le basi per la moderna rivoluzione industriale.

LA GRUE DI GALLIA DA ARADO

La grue impiegata dall'architetto Callia da Arado (in Fenicia) per conto dei Rodii, montata su una piattaforma (carchesium) girevole a forma di tazza tonda, operò sulle mura di Rodi nell'assedio condotto da Demetrio Poliorcete (16) tra il 305 e il 304 a.C.

Dice Vitruvio (17) che con il lancio di cavi e ganci avrebbero ghermito una ELEPOLA (18) che si avvicinava alle mura, sollevandola e trascinandola entro le mura stesse. -

Demetrio Poliorcete (che passa per esserne l'inventore) ne fece costruire una seconda alta 135 piedi e larga 60 (19) pesante 360.000 libbra (20) che però non fu possibile sollevare.

Non tutte le macchine infatti si possono costruire con i medesimi criteri, anzi talune costruite in scala ridotta hanno effetti simili a quelle grandi, altre costruite sempre in scala ridotta non sortiscono alcun effetto, altre infine costruite in modelli più grandi perdono di efficacia e si rivelano inadeguate (21).

Per averne ragione i Rodii versarono sulla ELEPOLA una tale quantità di acqua e liquidi di scarico che ne provocarono il rovesciamento sul terreno reso instabile.

(16) Demetrio I di Macedonia (336 cca-283/282 a.C.).

(17) Vitruvio, De Arch. Lib., X, 16.

(18) Torre con guerrieri disposti su vari piani. « Elepola » letteralmente: « (macchina) cattura città ».

(19) Alta circa 40 m. e larga m. 17,5.

(20) circa 117 tonn.

(21) Vitruvio, De Arch. Lib., X, 16.

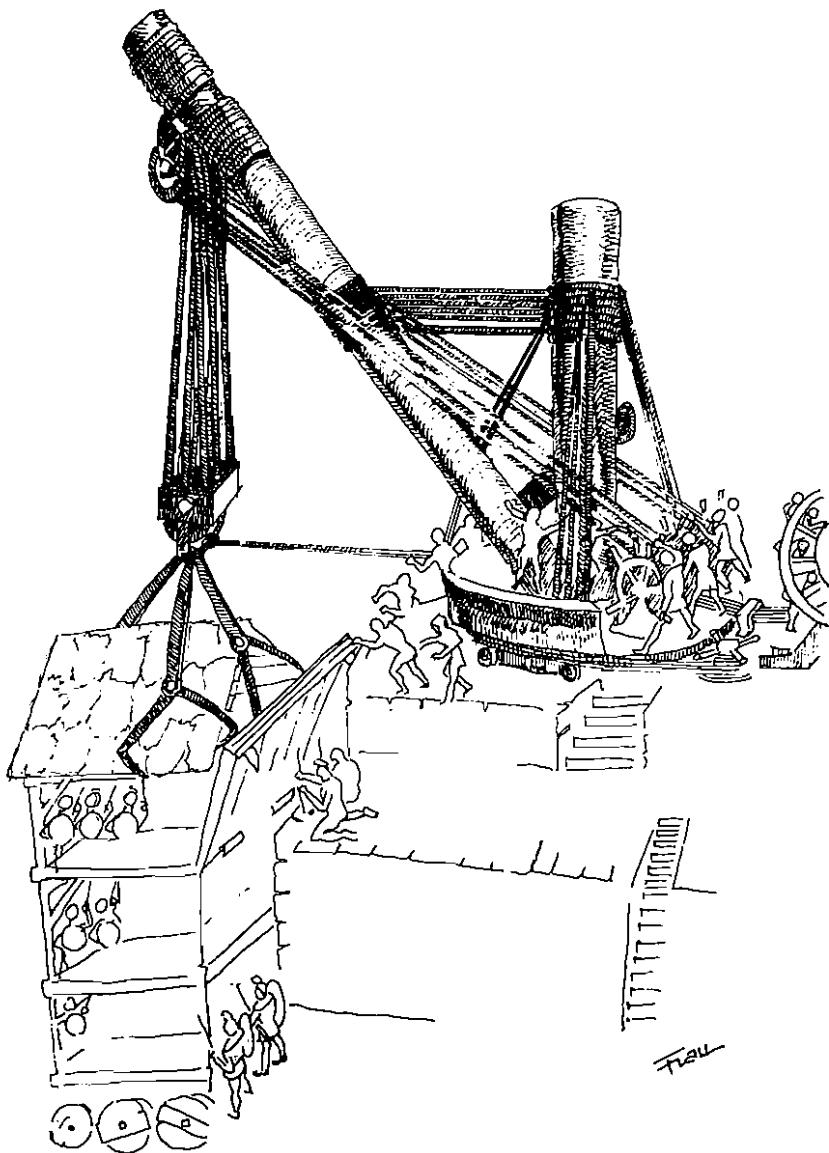


FIG. 1

Ricostruzione della grue (carchesium) di Callia da Arado impiegata nell'assedio di Rodi del 304 a.C. (secondo Vitruvio).

LE « MANI DI FERRO » DI ARCHIMEDE

«Altri (22) calavano una mano di ferro legata ad una catena per mezzo della quale l'uomo addetto al governo del rostro, afferrata la prua, abbassava la parte inferiore della macchina verso l'interno del muro; in questo modo, sollevata la prua, faceva rizzare la nave sulla poppa, poi fissata la parte inferiore della macchina così che non si movesse, per mezzo di un congegno apposito staccava la mano e la catena. In seguito a ciò alcune navi ricadevano su un fianco, altre si rovesciavano, quasi tutte lasciate cadere dall'alto, imbarcavano acqua e si riempivano di confusione. Marcello messo in difficoltà dai mezzi escogitati da Archimede e vedendo che i cittadini rendevano vano ogni suo tentativo e in più lo facevano oggetto di scherno, scherzava sulla sua situazione dicendo che Archimede attingeva acqua dal mare con le sue navi come fossero bicchieri cosicché le sambuche (23) erano prese a schiaffi e cacciate in via di malo modo dal banchetto (24) » (FIG. 2).

Sono evidenti nell'impiego di questa macchina reminiscenze della grue di Callia da Arado del 305/304 a.C. Quest'ultima però impiegava ganci anzichè « mani di ferro ».

Queste « mani di ferro » dovevano essere molto simili agli attuali afferratoi e tenaglia detti di Hunt », in uso oggi in tutti i nostri porti per il carico e lo scarico di merci alla rinfusa: carbone, caolino ecc.

Le « sambuche » impiegate dal console Marcello (FIG. 3) nell'assedio di Siracusa (25) erano quattro. Ognuna di esse era co-

(22) All'assedio di Siracusa (215-214 a.C.).

(23) vedi nota 1) pag. 157 vol. 55 « Le Storie di Polybio » trad. Carla Schick, A. Mondadori 1955: « Marcello scherza sul doppio significato della parola « sambuca » che indicava oltre alla macchina da guerra le suonatrici d'arpa le quali se suonavano male venivano cacciate a schiaffi dai banchetti ».

(24) Polibio — Le Storie — lib. VIII, 5.

(25) Marco Marcello console quell'anno insieme ad Appio Claudio.

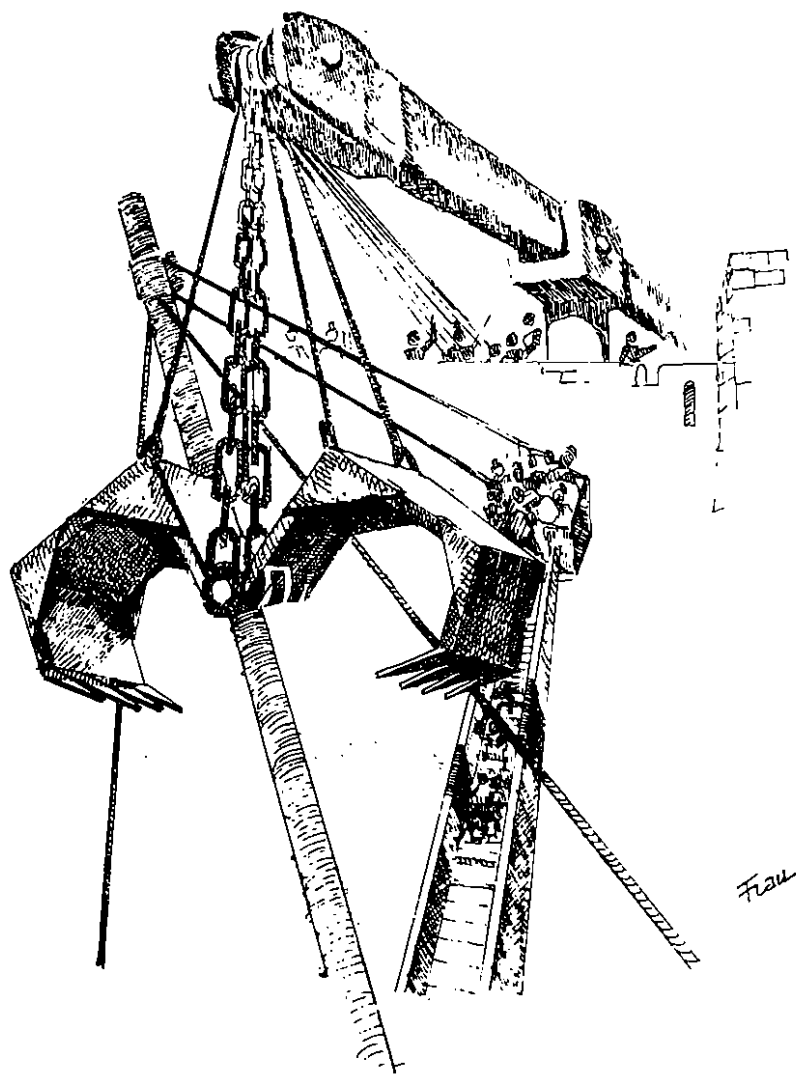


FIG. 2

Ricostruzione delle «mani di ferro» impiegate da Archimede nell'assedio di Siracusa del 215-214 a.C.

struita con due navi da «cinque banchi» accoppiate, alle quali aveva fatto togliere i remi della parte interna.

« accostate dalla parte priva di remi, esse si avvicinarono alla città spinte dai remi esterni... »

...la parte principale era costituita da una scala larga quattro piedi e della stessa altezza delle mura, difesa e rafforzata ai lati da alti parapetti.

Questa scala era appoggiata trasversalmente sui due lati congiunti delle due navi e sporgeva per lungo tratto dai rostri. Alla sommità degli alberi era applicata una carrucola con funi; al momento del bisogno, essendo le funi legate pure alla estremità della scala, gli uomini stando a poppa potevano trascinare la scala per mezzo di carrucole; altri uomini a prua sostenevano la macchina con puntelli e ne garantivano il sollevamento.

Quando spinte dai remi esterni, le navi che trasportavano le macchine erano vicine a terra, gli uomini tentavano di appoggiarle al muro. In cima alla scala era un piano difeso ai tre lati da graticci; su di esso potevano combattere quattro uomini, con l'incarico di respingere i difensori i quali dai merli tentavano di impedire che la sambuca venisse appoggiata. Appoggiata questa, i soldati si trovavano al di sopra del muro ed allora alcuni, tolti i graticci da entrambi i lati, salivano sui merli e sulle torri, altri li seguivano dalla sambuca servendosi della scala saldamente fissata con funi ad entrambe le navi » (26) FIG. 3.

Contro queste « sambuche » Archimede dunque aveva architettato la sua macchina che si presentava come una poderosa trave (un « rostro » secondo Polibio) che aveva agganciata sul lato estremo una pesante catena alla quale era agganciata una enorme tenaglia di ferro.

Questa trave era comandata da un argano che ne sollevava ed abbassava la parte posteriore per mezzo di un sistema di cavi agganciati al lato estremo interno della trave stessa e verosimilmente utilizzando dei grossi contrappesi.

(26) Pol., Le Storie VIII, 6.

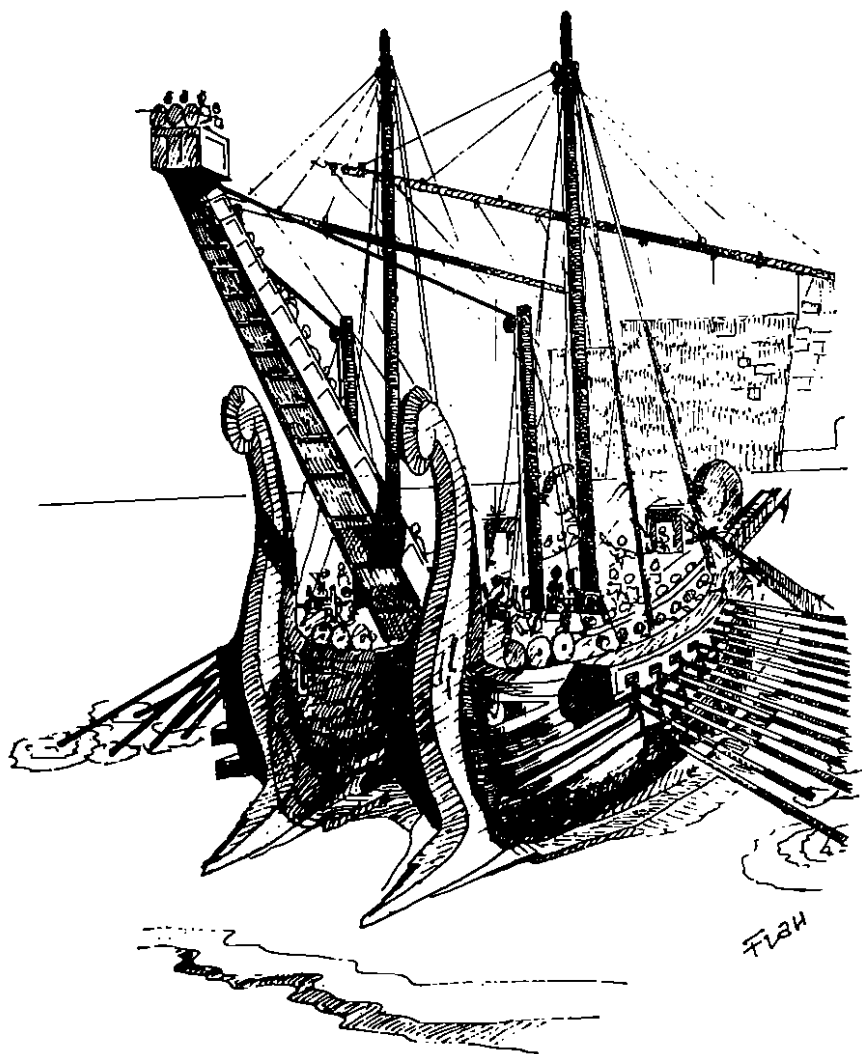


FIG. 3

Le «sambuche» del console Marcello nell'assedio di Siracusa del 215-214 a.C.

Un'altra serie di cavi comandata a mano, o da altro argano, comandava l'apertura o la chiusura delle ganasce destinate ad afferrare le « sambuche » (FIG. 2).

Dice Polibio che queste « mani di ferro » furono adoperate da Archimede anche sulle mura dal lato di terra e che « sollevavano gli uomini così armati come erano e li scagliavano lontano » (27).

(27) Pol., Le Storie VIII, 9.

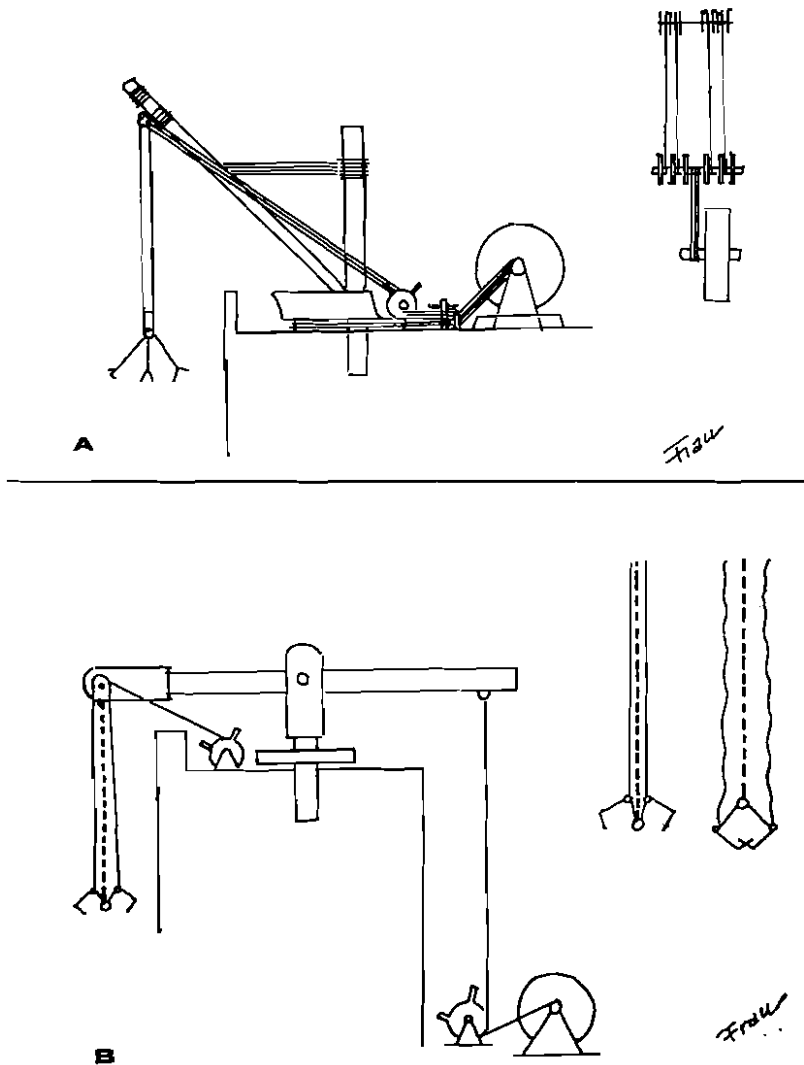


FIG. 4

Funzionamento delle grue di Callia da Arado (A) e delle « mani di ferro » di Archimede (B).

GANCI, EPOTIDI E CORVI

Nell'anno 413 a.C. gli Ateniesi, alleati con gli Etruschi, stavano per concludere con un disastro la spedizione contro Siracusa. Si erano rifugiati dopo la sconfitta navale nel porto grande di Siracusa.

« (i siracusani) come dice Tucidite (28) — bloccarono immediatamente il porto grande, che aveva una entrata di circa otto stadi (attici) (29), con trireme trasversali con navigli ed imbarcazioni meno pesanti tenute alla fonda; e presero ogni altra precauzione nel caso che gli ateniesi avessero osato combattere anche sul mare ».

Nicia, comandante della spedizione, ateniese, aveva preso delle contromisure e così le illustrò ai suoi:

« Abbiamo escogitato ogni cosa per difenderci con le navi e resisteremo alle robuste EPOTIDI (30) della flotta nemica, dalle quali siamo stati danneggiati. E' stato escogitato ad esempio il lancio di « mani di ferro » che impediranno la ritirata dalla nave assalitrice, e, se l'equipaggio farà il suo dovere, potranno agganciarla ».

Ma ai siracusani venne riferito quanto gli ateniesi stavano preparando ed allora

« presero precauzioni sia per questo sia per ogni altra evenienza. Infatti per un lungo tratto ricoprirono di cuoio

(28) Tucidite, Storie, Lib. VII, 62.

(29) circa 1400 metri.

(30) letteralmente « orecchie » e designavano alcune travi sporgenti da una parte e dall'altra della prua, che servivano sia per le ancore sia come mezzo di difesa.

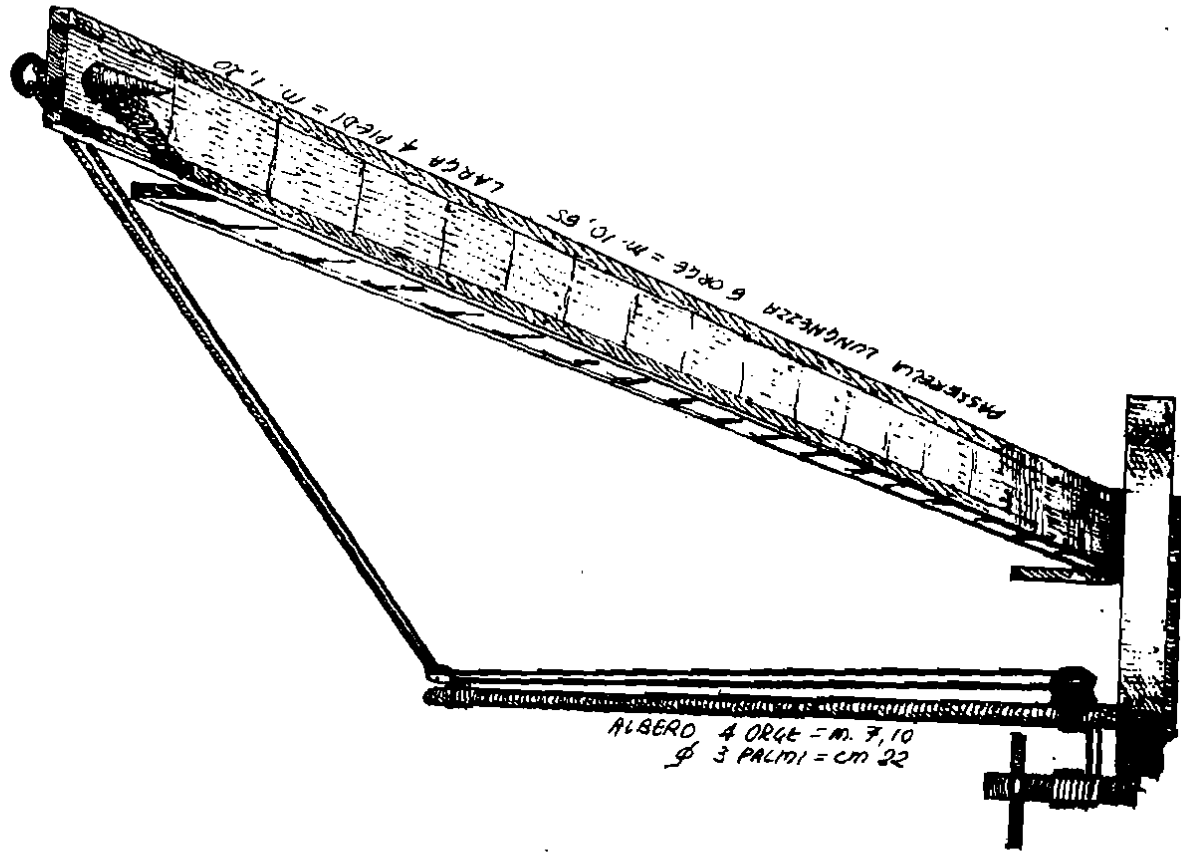


FIG. 5
 Il «corvo» di Caio Duilio del 260 a.C.

le prore e le parti alte di ogni nave affinché la « mano di ferro » scagliata scivolasse e non si agganciasse ».

Le « mani di ferro » ebbero una importante variante nei « corvi » impiegati dalla flotta romana, comandata da Caio Duilio, nel 260/259 a.C. contro la flotta cartaginese. Dice Polibio: (31)

« (i romani) informati che la flotta nemica non era molto distante, si preparano alla battaglia navale. Le navi però erano di struttura goffa ed inadatta al movimento veloce: opportunamente dunque vi fu chi ideò e propose lo strumento bellico chiamato più tardi « corvo » (verosimilmente per il ricordo che era stato tramutato tra le maestranze etrusche degli strumenti impiegati nei fatti del 413 a.C. ai quali i loro avi avevano partecipato insieme agli ateniesi). Esso era costruito come ora dirò: a prua si alzava un'antenna rotonda lunga 4 orge e del diametro di 3 palmi (32). (FIG. 5).

« questa portava a sua volta sulla cima una carrucola e tutt'intorno era una scala fatta di travi trasversali, fissata con chiodi, della larghezza di 4 piedi e della lunghezza di 6 orge (33). Nel tavolato era un foro oblunco che girava intorno all'antenna alla distanza di 2 orge dalla base inferiore della scala (34). La scala aveva pure un parapetto che arrivava fino all'altezza del ginocchio e si stendeva da entrambi i lati per tutta la sua lunghezza. All'estremità era applicato una specie di pestello acuminato, di ferro, recante in cima un anello, di modo che nel suo insieme lo strumento appariva simile a quelle macchine che servono per macinare il grano (evidentemente l'anello superiore ricordava l'anello in cui era allogato il trave fissato alla mola e al basto dell'asino). All'anello era legata una gòmena con la quale, quando la nave si scontrava con quella avversaria, i marinai sollevavano i corvi per mezzo della carrucola che era all'estremità dell'antenna e li facevano ricadere sulla tolda della nave avversaria, ora a prua, ora, con una deviazione laterale sul fianco.

(31) Pol. Le Storie, Lib. I, 22.

(32) lunga circa m. 7,10 e del diametro di 22 cm. circa.

(33) larga circa m. 1,20 e lunga circa m. 10,65.

(34) circa m. 3,55.

Quando i corvi impigliatisi nei tavolati della tolda nemica, avevano unito le navi, se queste erano congiunte per i fianchi, i soldati abbordavano da ogni parte, se erano unite a prua, a due a due salivano in fila attraverso il rostro stesso; i primi si difendevano frontalmente opponendo gli scudi, gli altri si proteggevano i fianchi appoggiando l'orlo degli scudi sul parapetto ».

TEORIE DI VITRUVIO SULLA COMPOSIZIONE DELLE FORZE

Vitruvio si dilunga molto nello spiegare la sua teoria sulla trazione rettilinea e sulla trazione circolare:

« (...il funzionamento della macchina da trazione) si basa su due grandi principi e forze molto diversi l'uno dall'altro, eppure concorrenti al medesimo effetto: il primo è il moto rettilineo, l'altro moto circolare. Nè il moto rettilineo senza quello circolare, nè il moto circolare senza quello rettilineo potrebbero però sollevare dei carichi. Questo fatto può essere chiaramente dimostrato. Le girelle, nelle carrucole, devono essere infatti inserite al centro degli assi. La fune che prima le avvolge prosegue poi in linea retta e va legata al naspo che, ruotando spinto dalle leve, le fa arrotolare sollevando nello stesso tempo il carico. I cardini del naspo stesso, poggiano come dei centri, entro i sostegni ad anello (chelonia), all'interno dei quali girano a guisa di un tornio, producendo il sollevamento dei pesi ».

E' lo stesso principio della leva (VECTIS):

« Ora la lunghezza di quella parte della leva che va dal fulcro o centro fino sotto il peso sarà inversamente proporzionale all'altra parte che va dal fulcro all'altro estremo su cui deve far pressione. Premendo su questa impugnatura, anche con le forze di poche mani si costringe la leva a compiere un movimento circolare, capace di spostare un peso anche rilevantissimo ».

Passa quindi ad esaminare le analogie con la stadera (STATERA), con il timone (GUBERNACULUM), con le vele (VELA), con i remi (REMI), con le stanghe (VECTIS) ecc.:

« In essa (stadera) l'estremo da cui pende il piatto è collocato infatti molto vicino al manico, che funziona da fulcro. Dall'altra parte si prolunga il braccio che è una

stanga graduata su cui scorre un contrappeso. Man mano che questo viene allontanato dal manico verso l'esterno, si rende la pressione esercitata da un peso anche grandissimo (sul piatto della stadera) pari a quella esercitata dal peso molto più piccolo (posto sulla stanga). Allontanandosi ancora il contrappeso dal centro, questo equilibrio tende a venir meno: anche un breve spostamento provoca una spinta maggiore che costringe il peso tanto più grande posto nel piatto a muoversi pian piano ed a salire dolcemente dal basso verso l'alto ».

« Qualcosa di analogo succede quando il timoniere di una grossa nave da carico, manovrando il manico del timone con una sola mano, riesce, facendo abilmente pressione, a far ruotare attorno al cardine il timone e quindi a girare tutta la nave, che pure costituisce un'enorme mole per il peso delle molte mercanzie e dello scafo ».

« Le vele funzionano come una leva che deve alzare il carico: se la pressione viene esercitata nella sua parte mediana, oppone resistenza e non si abbassa; impugnata invece all'estremo, solleva facilmente il peso ».

« Anche i remi, quando vengono spostati in avanti o indietro con le mani, spingono innanzi con maggior impeto la nave, se immergono nei flutti spumeggianti soltanto la loro pala che è situata all'estremo ».

« Sia dunque nelle stanghe che nei gioghi, quando l'attacco delle corregge non è centrale, ma spostato da una parte, rende necessariamente i lati uno più breve e l'altro più lungo. Se si facesse dunque compiere alla stanga o al giogo un movimento circolare intorno al centro, che è individuato dal punto di attacco delle corregge, il lato più lungo descriverebbe una circonferenza più ampia, quello più corto una circonferenza minore ».

E conclude:

Come dunque tutte queste macchine funzionano combinando insieme i loro moti rettilinei e circolari in rapporto ad un centro, così anche i carri, le carrozze, i timpani, le ruote, le viti, gli scorpion, le baliste, i torchi e tutte le altre macchine producono i loro effetti con analoghi movimenti rettilinei e circolari corrispondenti ad un determinato centro ».

IL POLYSPASTON

Tra i mezzi di sollevamento descritti da Vitruvio (38) alcuni sono di sorprendente attualità: il « polypaston » è uno di questi (FIG. 7).

I picchi di carico delle moderne navi (FIG. 8) sono l'ultimo anello, eppure il più prossimo, nello sviluppo degli antichi mezzi di sollevamento, al punto che, come ho detto, l'unico elemento che distingue i due mezzi è soltanto la forza motrice che muove i verricelli.

In sostanza il POLYSPASTON assolveva, nel tipo monoalbero, la funzione di una gru girevole ed utilizzava dei paranchi a tre pulegge distribuite fra tre carrucole fisse e due mobili con tiro a sistema diretto (39).

In tutti i polypaston la « machina » era costituita da un minimo di due carrucole, la TROClea SUMMA e la TROClea INFIMA, ma come ho detto i sistemi di paranchi a cinque carrucole erano di efficacia eccezionale per solidità e rapidità di esecuzione (40) ed i valori di potenza e di velocità erano strettamente connessi al numero di bozzelli mobili di cui era formato un paranco nonchè alle vette (41) tenute dal bozzello mobile.

La manovra di questi picchi di carico (pentaspaston a 5 carrucole monoalberi) era di notevole difficoltà perchè l'abbassamento od il sollevamento dell'albero comportava una variazione di rapporti tra RESISTENZA e POTENZA (42) tanto da far dire

(38) Vitruvio, op. cit. lib. X.

(39) dicesi paranco a tiro diretto quello in cui resistenza e potenza possono spostarsi nello stesso verso.

(40) Il guadagno in potenza che si ottiene con un paranco deriva dal bozzello mobile (orbiculus inferiore della troclea infima) ed è espresso dal numero delle vette tenuto da questo. In un paranco in movimento la velocità della potenza è eguale a quella della resistenza moltiplicata per il numero delle vette tenute dal bozzello mobile.

(41) Capi di corde passanti per le carrucole del bozzello.

(42) Il picco non deve essere inclinato oltre i 20° in modo cioè che lo sbraccio non superi un terzo della lunghezza del picco stesso dal piede

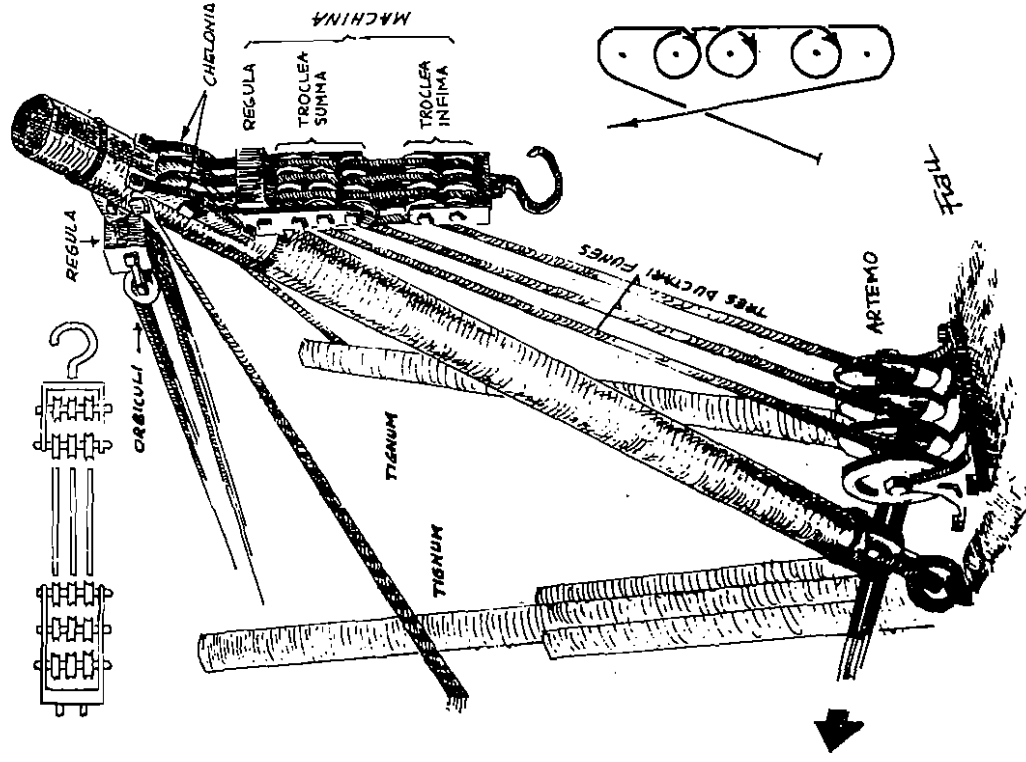


FIG. 7
 Polispaston monoalbero mobile (da Vitruvio).

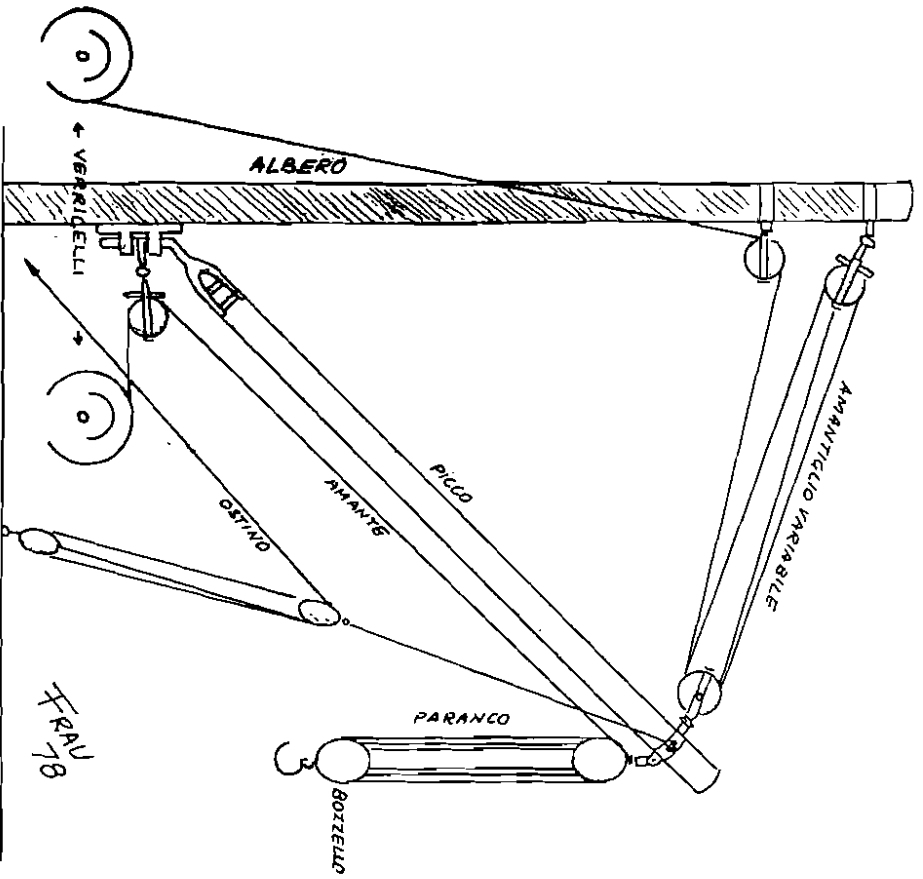


FIG. 8

Bigo di carico moderno su nave mercantile.

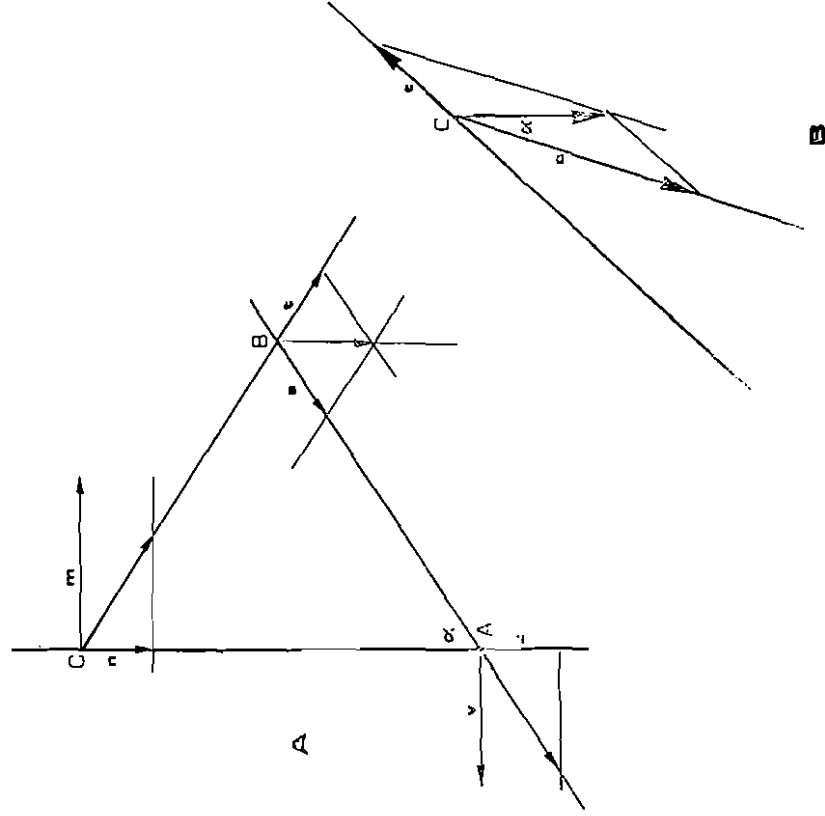


FIG. 9

Rapporto delle forze in un bigo di carico.

a Vitruvio (43): « SED IN EO DARE OPERAM NON POSSUNT NISI PERITI » — (« ma non lo possono manovrare che persone esperte »).

Sempre riferendosi al pentaspaston monoalbero, alla base di esso, le tre cime confluivano in un altro ingegnoso sistema di carrucola multipla chiamata ARTEMONE (44) ed entravano poi in tensione tirate a mano oppure a mezzo di argani (ERGATA).

La grande innovazione introdotta da questo apparecchio stava sia nella possibilità di sollevare pesi eccezionali sia nell'operare in senso girevole con l'uso di un'unica trave inclinata ad altezza regolabile (FIG. 7).

La « machina » di questo polyspaston poteva però essere agganciata anche a travi fisse, poteva essere trasferita ad altezze notevoli, poteva agire in senso orizzontale per trarre, ad esempio, navi in secco. Ma il modo più classico era quello di agganciarla alla trave inclinata ed in questo modo poteva essere usata anche a bordo delle navi. Dice Vitruvio: « Sed etiam ad onerandas et exonerandas naves sunt paratae » (« ma sono anche adatte allo scarico ed al carico delle navi »).

La trave inclinata era agganciata a mezzo di quattro funi regolabili ad un tronco fissato sul terreno con un sistema di pilastri composti da 2 o 4 abetelle accoppiate. Sulla sommità della trave un supporto (CHELONIA) con perni e carrucole sosteneva la « machina » composta da una REGULA lunga 2 piedi, larga 6 dita e spessa 4 dita (45) alla quale erano fissate tre corde (TRES DUCTARII FUNES) che si avvolgevano prima nelle ruote (ORBICULI) inferiori della carrucola inferiore (TROCLEA INFERIMA), salivano ed avvolgevano le ruote superiori della carrucola inferiore poi salivano alle ruote inferiori della carrucola superiore (TROCLEA SUMMA), poi a quelle medie ed infine a quelle superiori.

Scendevano poi e ruotavano in basso sull'ARTEMONE e venivano sottese a mano, oppure a mezzo di argani (ERGATA) oppure a mezzo di ROTAE dette dai greci: PERITHECHION o ANFIERES mosse da 4/5 uomini correnti all'interno.

alla legatura di testa. Da « Arte di caricare una nave » di N. Petri - Trieste 49.

(43) Vitruvio op. cit. lib. X, 2.

(44) vedi anche nota 10.

(45) cioè circa cm. 60 x 11 x 7.

Nella versione moderna l'albero di carico « ad amantiglio variabile » sostituisce con verricelli a motore gli argani a leve o le ROTAE.

Sempre nella versione moderna la « machina » è sostituita da un paranco a tre cavi con due bozzelli, uno fisso e l'altro mobile (vedi FIG. 8). Lo spostamento circolare del picco di carico è affidato all'« ostino ». Il picco ruota su un perno infilato in due « asole ».

La condizione migliore che si può ottenere per la distribuzione equa degli sforzi su un albero di carico è che si realizzi la seguente relazione

$$t = s = P$$

dove t sia la tensione rappresentata dal peso P sull'amantiglio e dove s sia lo sforzo di compressione sopportato dal picco contro l'albero in conseguenza del peso P (FIG. 9).

IL PENTASPASTON

Un altro apparecchio di altrettanta funzionalità era il PENTASPASTON nelle due versioni a tre argani e carrucole a doppia ruota ed a due argani contrapposti e carrucole a ruota singola (FIG. 11).

Nella prima versione i capi delle corde agivano congiuntamente fissati a due argani secondari che venivano manovrati da un argano principale a mezzo di leve infisse nei volani dell'argano principale.

Il tempo di sollevamento veniva a risultare dimezzato essendo la corsa della carrucola sollecitata da entrambi i capi delle corde.

Anche nel caso della seconda versione i tempi risultavano dimezzati e l'apparecchio si rivelava quanto mai celere; in questo caso però gli argani agivano da punti contrapposti sempre a mezzo di leve mobili.

L'edizione moderna di questi apparecchi è data dalla BIGA, detta anche CAPRA o CAPRIA (CAVRIA) ed è costituita da due grandi aste incrociate alla testa con solida legatura alla portoghese che si drizzano in coperta alle navi coi loro piedi divaricati e rinforzati da « lapazze » all'ingiro, poggianti sopra scarpe di legno.

Tutto il sistema viene mantenuto fermo da apposite ritenute ed i piedi adeguatamente rizzati. Al vertice della biga viene cucito il bozzello fisso del paranco destinato a sollevare il peso.

La condizione ideale nella erezione di una biga è che la distanza fra i piedi della biga sia uguale a un terzo della lunghezza delle travi dal piede alla legatura di testa. Lo sbraccio (inclinazione) massima della biga non dovrebbe assolutamente superare i 30°.

Un bassorilievo trovato sulla via Labicana nella tomba degli Ateri (del I-II sec. d.C.) (FIG. 12) riproduce un « polypaston »

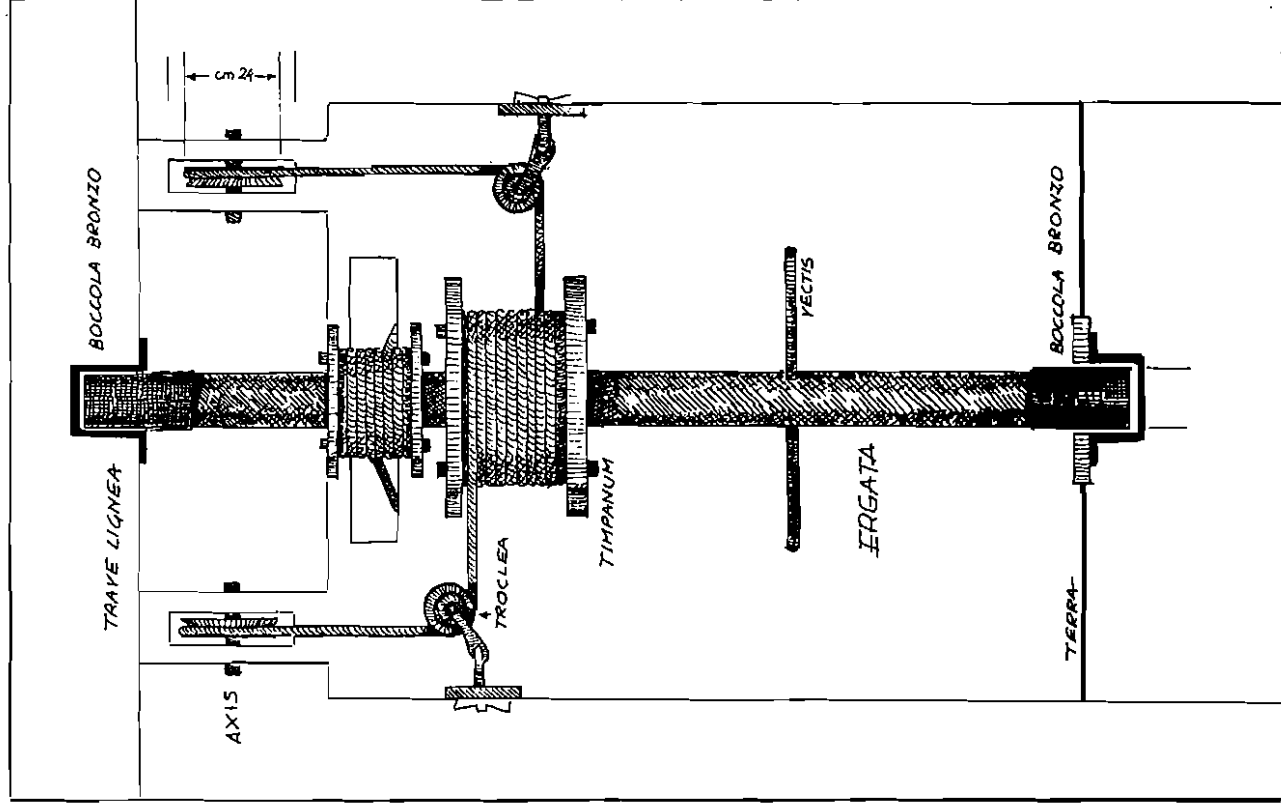


FIG. 10
Argano verticale (I sec. a.C. - II sec. d.C.).

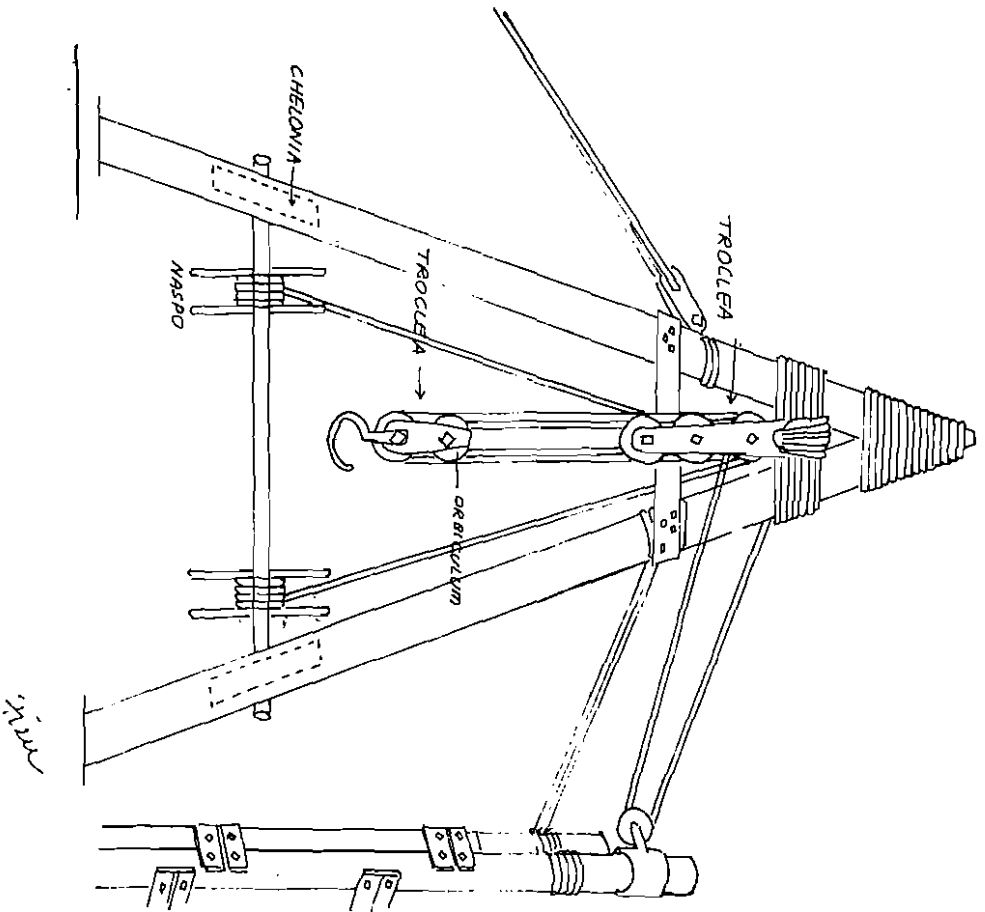


FIG. 11
Pentaspaston a due argani secondo Vitruvio.

di notevoli dimensioni. Alto presumibilmente 15/16 metri con una ROTA di 3/4 metri di diametro. Questo bigo veniva mosso oltre che dalla ROTA ben visibile, dentro la quale prendevano posto 5/6 uomini che ne provocavano il movimento, anche da una ERGATA (argano) (FIG. 12). La capacità di sollevamento di questi apparecchi doveva essere rilevante. Un bassorilievo al Museo di Capua rappresenta una tale macchina in atto di sollevare una intera colonna di un tempio dedicato ad Athena.

Secondo Wilhelm Sandermann (46): « una grue a tre carrucole, che veniva fatta funzionare da un uomo posto al braccio di una leva lunga cm. 40 poteva sollevare 135 kg. La forza di sollevamento di tali apparecchi era determinata dalla solidità della corda (kg. 400) e dalla forza della mano di un uomo (kg. 15). Così, con un tirante di 5 carrucole, azionato da due uomini al verricello, si potevano sollevare 450 kg. Per pesi superiori si doveva lavorare con diversi paranchi e corde, come pure con speciali rinvii al posto del verricello. Con un argano a mano, 4 uomini sollevavano 3000 (?) kg. La grue più efficiente, con 5 carrucole, tre corde ed una gran ruota a gradini mossa da uomini che camminavano al suo interno usata come rinvio, poteva sollevare 6 tonn. con la forza di due uomini. Era una macchina di alta prestazione ed a funzionamento veloce, adatta a grosse costruzioni ed officine, ad esempio fabbriche di colonne. Per facilitare il sollevamento delle pietre, in esse venivano praticate scanalature o fori per l'aggancio dei meccanismi della grue ».

Il trasporto degli obelischi a mezzo di navi appositamente costruite, da Alessandria a Roma, lo sbarco degli obelischi dalle navi, il trasporto attraverso la città non poteva far a meno di poderose macchine ed elaborati mezzi di sollevamento non potendo utilizzare, specie nel momento dello sbarco, gran numero di schiavi al contrario di quanto poteva avvenire in Egitto dove con la tecnica dei terrapieni e dei serbatoi da vuotare in ampi e liberi spazi l'impiego di schiavi per manovrare le funi era senza dubbio il più efficace (47).

(46) W. Sandermann: « Das Erste Eisen fiel vom Himmel » 1978 - Munchen.

(47) L. Habachi — i segreti degli obelischi — New. Compt. 78.

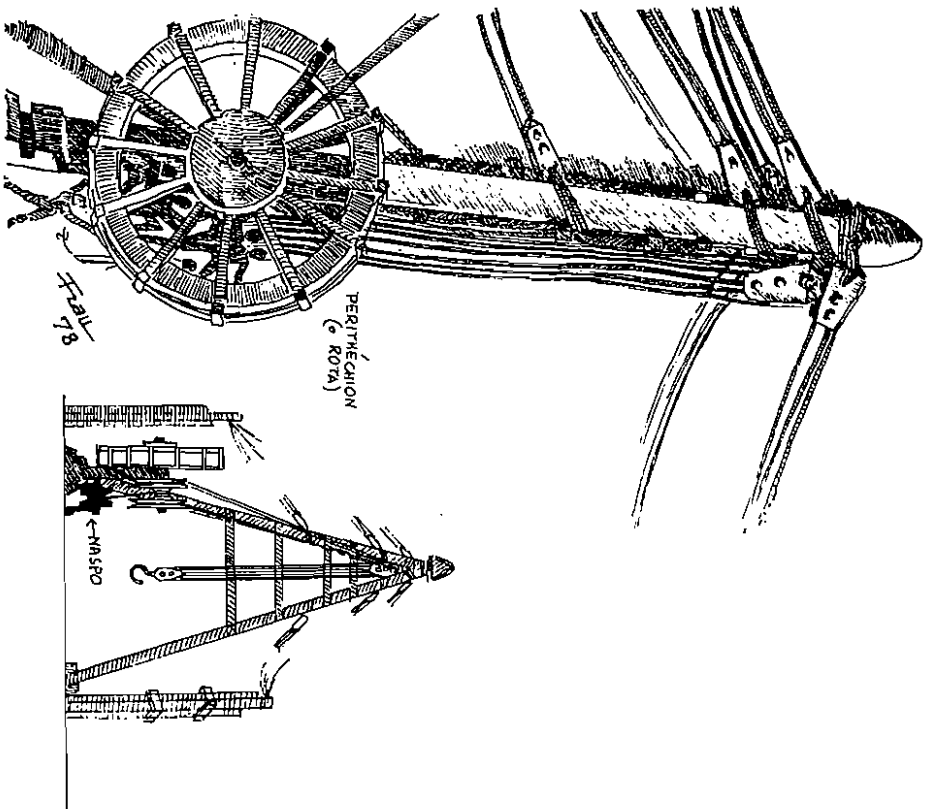


FIG. 12

Il pentaspaston con perithechion (o rota) della tomba degli Aleri (I-II sec. d.C.).

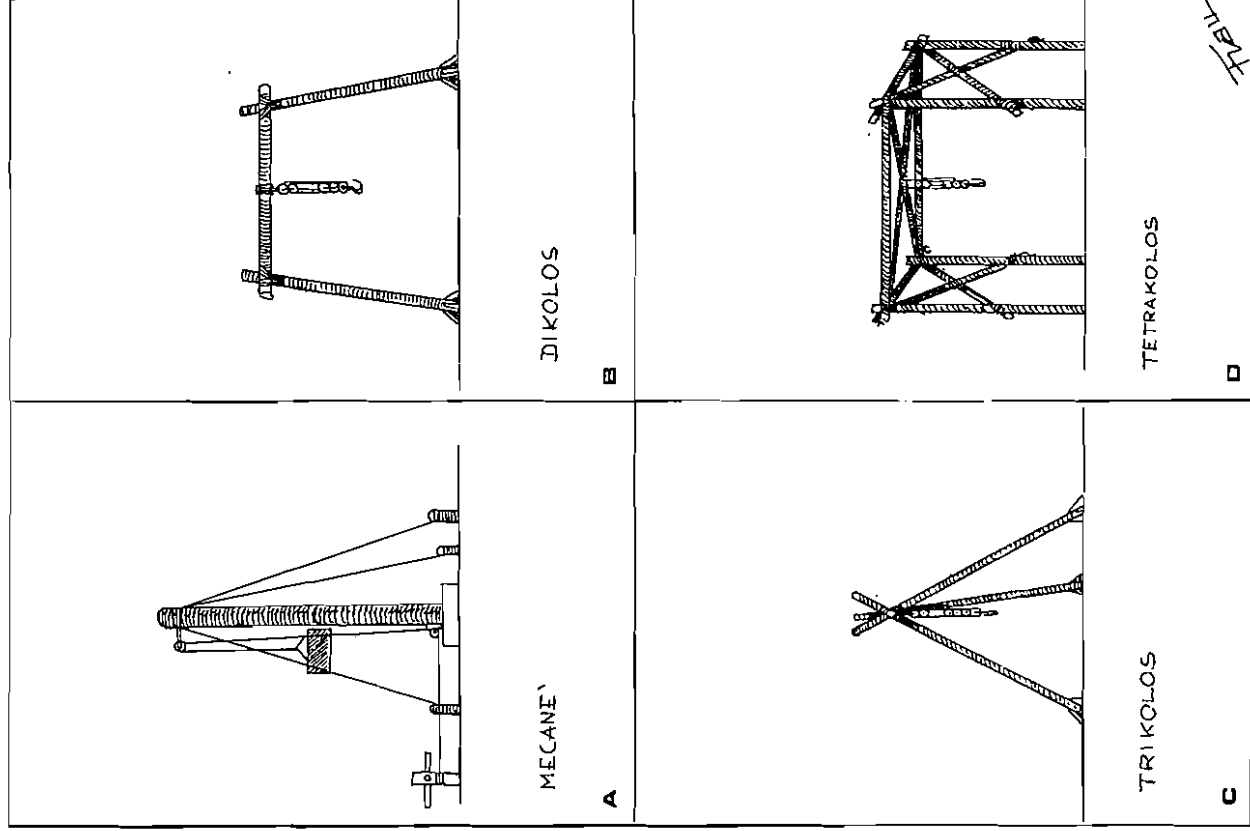


FIG. 13
Le «taglie» di sollevamento secondo la nomenclatura greca.

Degli obelischi ora a Roma quello a piazza San Giovanni in Laterano, alto m. 32,18, pesa 455 tonn., quello a piazza del Popolo pesa tonn. 235, quello Vaticano 440 tonn.

Per il trasporto delle colonne e degli epistilii si adoperava un procedimento ingegnoso che Vitruvio attribuisce a Chersiphronos(48) e che fu attuato dal figlio Metagene per trasportare i fusti delle colonne del tempio di Diana in Efeso dalla cava al santuario.

«Strinse e legò con bastoni d'un terzo di piede (10 cm.) due sbarre di legno con interposte due traverse quanto era la lunghezza del fusto della colonna; sulle teste dei fusti impiombò pironi di ferro come spranghe; e sul legno, per circuire i pironi, infisse armille e le teste medesime cinse di buccole lignee.

I pironi ingabbiati nelle armille ruotavano liberamente, sicché, quando i bovi aggiogati tiravano i fusti, girando sui pironi e le armille, rotolavano senza interruzione ». (FIG. 14, a-b)

Trasportati così tutti gli scapi, urgeva trasportare gli epistilii. Metagene, figlio di Chersifrone, lo stesso modo di trasportare lo passò al trasporto degli epistilii.

«Egli fece ruote di circa dodici piedi (m. 3,50) e incluse i capi degli epistilii nel mezzo delle ruote. Similmente pironi ed armille infisse nei capi. Quindi mentre i bastoni di un piede e mezzo (cm. 45), venivan trascinati dai buoi, i pironi impegnati nelle armille giravan le ruote, e gli epistilii inclusi come assi nelle ruote, al modo stesso degli scapi, arrivavano senza indugio al posto di lavoro » (FIG. 14, a-b)

Il corredo degli apparecchi di sollevamento poteva contare su TENAGLIE (FORCIPES FERREI), su INCASTRI di ferro a forma trapezoidale e su SPESSORI di ferro per l'adattamento a mezzo di ganci ed anelli ai polispastos (FIG. 14/c-d-e-f-g).

Gli stessi massi poi erano predisposti con scanalature, fori, incavi ecc. a ricevere cavi per l'«imbracatura» (FIG. 15).

(48) Vitruvio De Arch. Lib. X, 2.

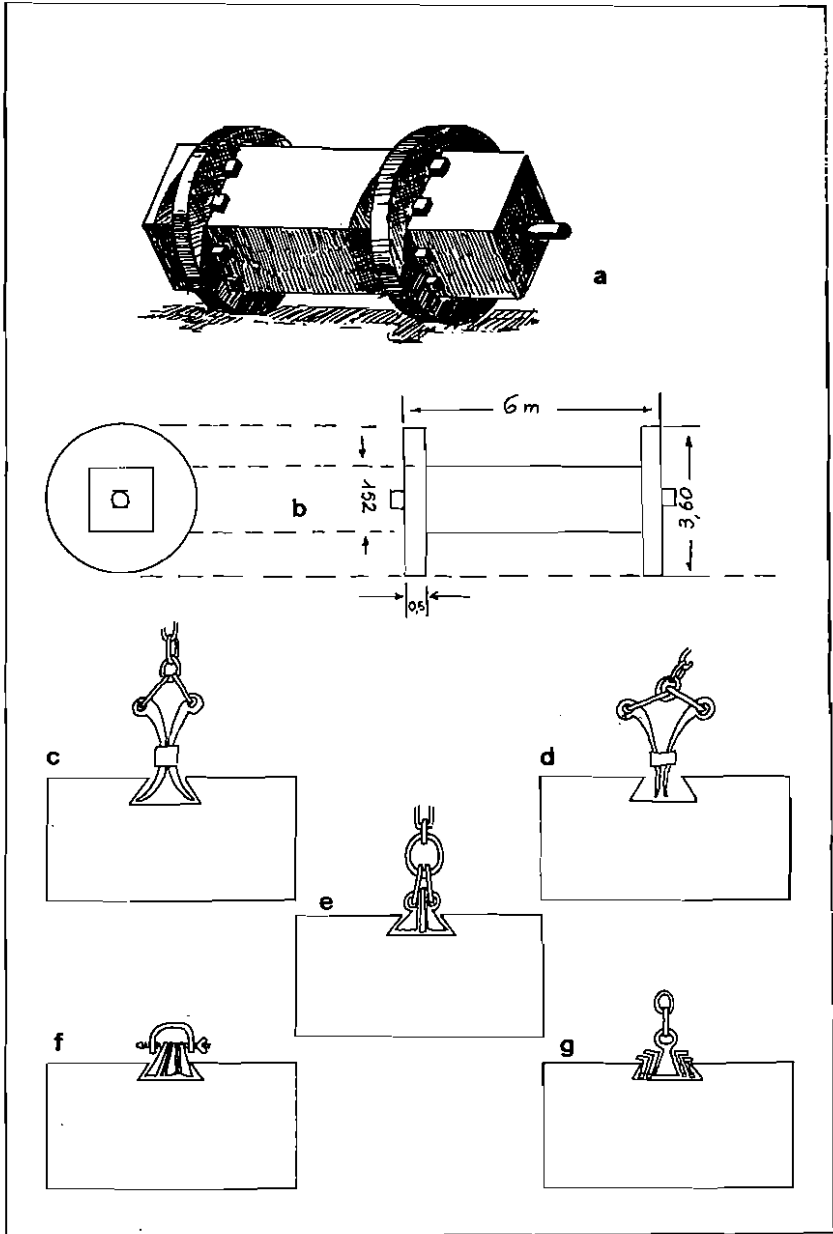


FIG. 14

a) b) Sistema di trasporto degli epistilii usato da Chersiphronos (secondo Vitruvio).
 c) d) e) f) g) Sistemi sollevamento massi con «forcipes ferrei» ecc.

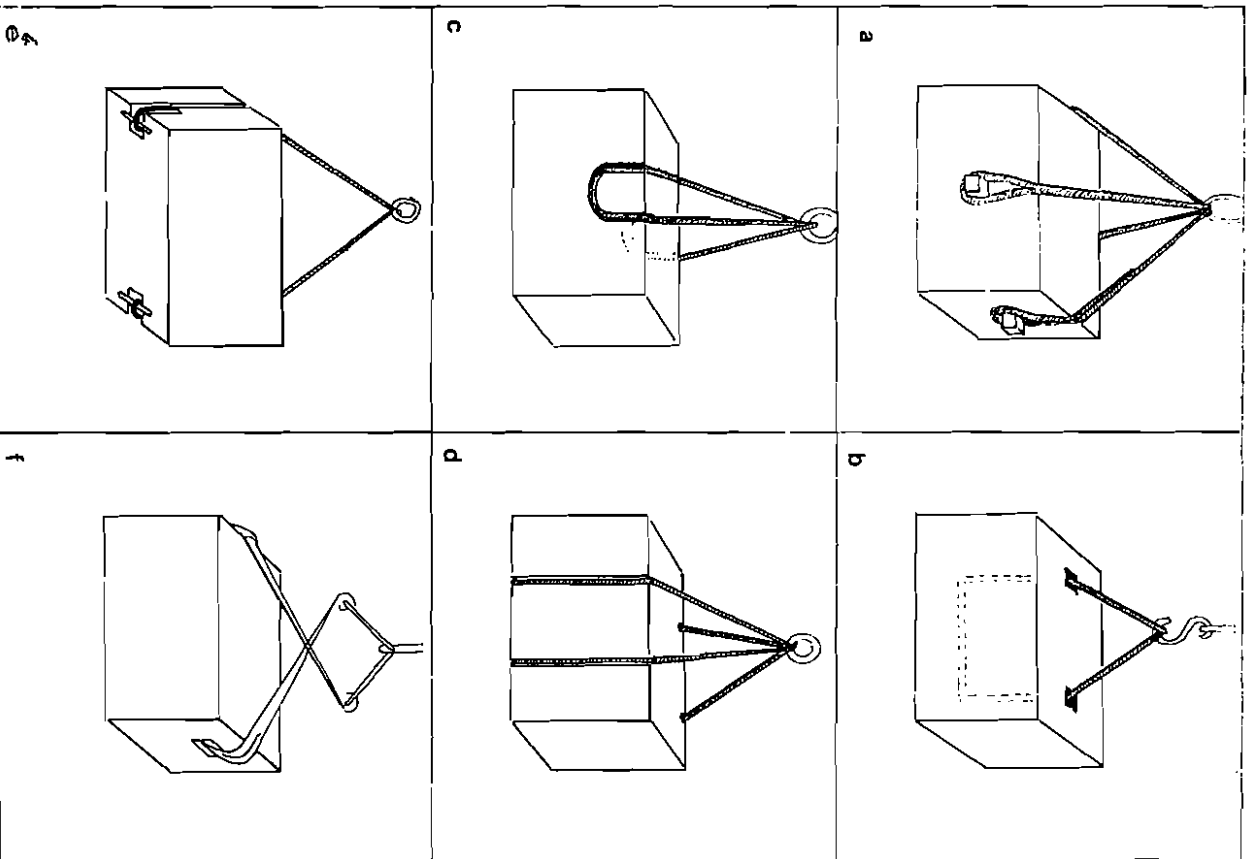


FIG. 15
 Sistema sollevamento massi con cavi.

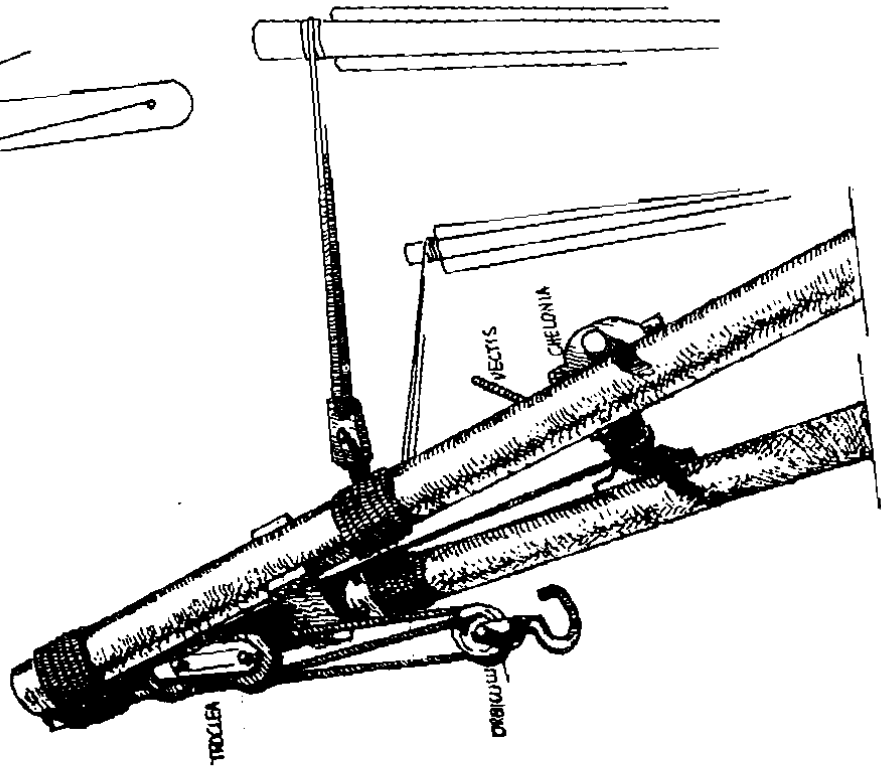
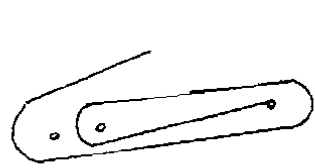


FIG. 16
Trispaston.

IL TRISPASTON

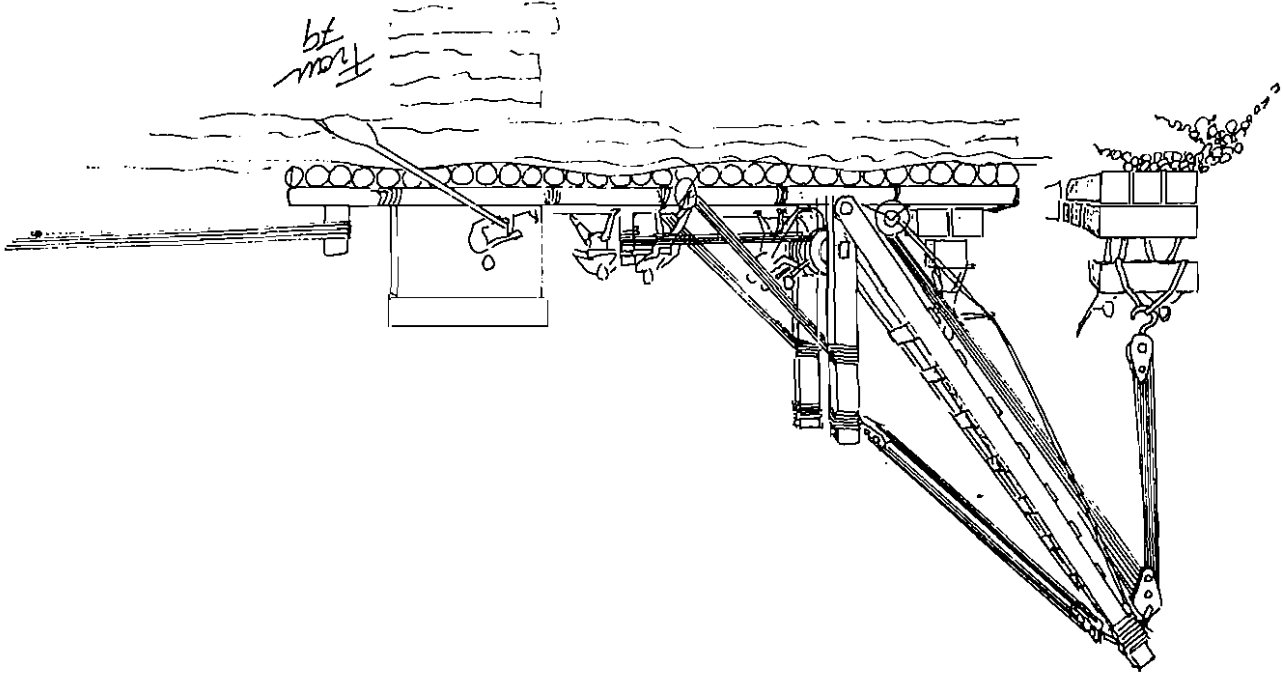
Gli apparecchi più semplici descritti da Vitruvio sono i trispastos (FIG. 16) in cui la « macchina » era limitata a due carucole con tre sole ruote. La corda entrava in tensione a mezzo di un argano posto come al solito alla base dell'apparecchio, fissato da CHÉLONIE alle due travi e funzionante per mezzo di leve che si infilavano alternativamente in fori predisposti nella ruota dell'argano.

Un TRISPASTON è raffigurante in un bassorilievo che illustra la costruzione del porto di Terracina.

E' probabile che esistesse un sistema di frenaggio incorporato negli argani o realizzato a mezzo di denti esterni al NASPO ma di esso non ho trovato traccia nè notizia.

Nave posamassi per la costruzione dei moli.

FIG. 17



NAVI POSAMASSI E NAVI BATTIPALO

Le navi posamassi, anche se non suffragate da sufficiente documentazione dovevano certamente essere utilizzate per le costruzioni dei porti dai poderosi « moli alla greca » fin dall'epoca della proliferazione dei porti greci, etruschi e punicici sulle coste centrali e meridionali dell'Italia. Doveva trattarsi di grosse zattere munite di polyspastos inclinati destinati alla posa dei massi con i quali venivano costruiti i moli (FIG. 17).

I moli del porto etrusco ritrovato nell'area di Castrum Novum (49), che risalgono al V sec. a.C. erano costruiti con massi di arenaria (50) dal peso medio superiore a kg. 1500 ognuno.

Essi nelle dimensioni di ml. 1,800 x 0,80 x 0,60 superano però i 2240 kg.

Questi moli poggianti su massicciate di pietrisco fino al livello del mare su profondità di oltre 3 ml. avevano uno spessore approssimativo di ml. 2,40 inquanto erano formati da tre massi spessi circa cm. 80 disposti affiancati « alla greca » ossia da un masso trasversale lungo ml. 1,60 + uno longitudinale da cm. 80 di larghezza o viceversa.

‘Su un fronte di m. 2,40, dove non potevano operare più di tre uomini, con mare a destra e sinistra, per via di terra non era possibile sollevare, ma neppure spostare, uno solo dei massi in questione. L'unica possibilità consisteva dunque nel trasferire su una zattera un sufficiente numero di massi da deporre sulle banchine poi con un polysaston.

Le navi battipalo (51) utilizzavano un particolare tipo di polyspaston (FIG. 17). In luogo del carico la « macchina » sol-

(49) B. Frau «Il ritrov. di un porto etrusco del V sec. a.C. nell'area marittima di Castrum Novum» 1979.

(50) Questa pietra ha peso specif. tra i 2500 e i 2700 kg. x mc. con resistenza di compress. di 600/1000 kg. x cmq.

(51) C. G. Cesare. De Bello Gallico, Lib. IV, 17.

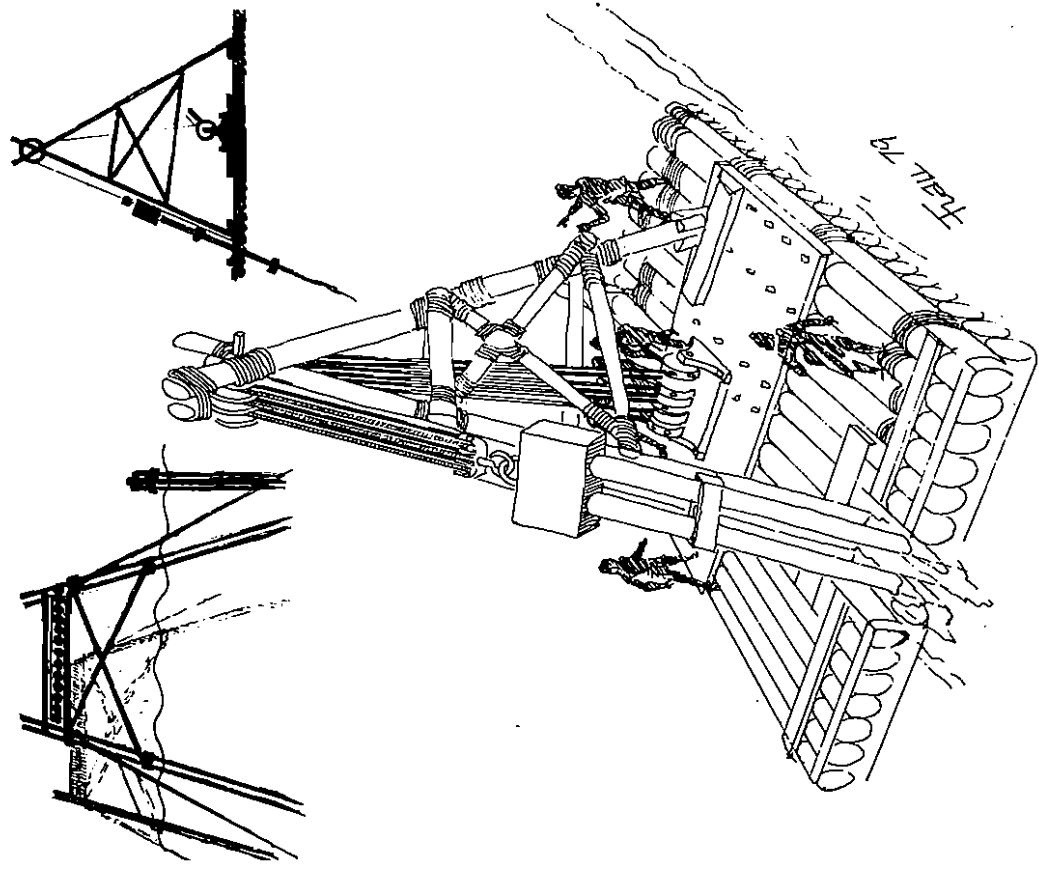


FIG. 18

Nave battipalo per la costruzione di ponti del I sec. a.C. secondo Cesare.

levava, per poi lasciarlo cadere con violenza, un pesante mas-
so di ferro che scorreva su una guida di legno inclinata, percuo-
tendo dei lunghi pali che si infiggevano nel letto del fiume per
la costruzione di ponti, o che si infiggevano per fissare le cas-
seformi per le gettate di malta cementizia nei porti oppure ai
bordi dei canali.