



LAURO ALBERTO BARBARESI

NASCITA ED EVOLUZIONE DELLE RUOTE IDRAULICHE NELL'IMPERO ROMANO D'OCCIDENTE

DA VITRUVIO, A DOLAUCOTHI, A RIO TINTO



aracne



aracne



ISBN

979-12-5994-959-2

PRIMA EDIZIONE

ROMA 15 APRILE 2022

*Ad Anita, Laura,
Alessandro, Chiara e Francesca*

I motti sulla scalinata dell'amato
e indimenticabile liceo Cavour di Roma:

Considerate la vostra semenza
Fatti non foste a viver come bruti
ma per seguir virtute e canoscenza.

DANTE ALIGHIERI, *La Divina Commedia*
(*Inferno*, canto XXVI, vv. 118–120)

Tristo lo discepolo che non avanza lo suo
maestro.

LEONARDO DA VINCI

INDICE

II	<i>Presentazione</i>	
13	Capitolo I Le origini	
	1.1. Testimonianze letterarie, 13	
15	Capitolo II Vitruvio	
	2.1. La ruota di Vitruvio, 15 – 2.2. Il funzionamento a “tuffo”, 18	
19	Capitolo III Da Vitruvio a Dolaucothi	
	3.1. Le limitazioni nel funzionamento a “tuffo”, 19	
23	Capitolo IV La ruota di Dolaucothi	
	4.1. Il reperto archeologico, 23 – 4.2. Il probabile criterio di progettazione, 25 – 4.3. Dal funzionamento a “tuffo” a quello a “sfiorare”. La posizione ottimale della bocca: il punto K° , 27 – 4.4. La posizione del vertice della bocca riscontrata sul campione, 32 – 4.5. La definizione del diametro interno della ruota, 33 – 4.6. La forma della bocca, 35 – 4.7. Il volume sollevato $2V_{1, \delta=0}$, la posizione angolare $\beta_{\delta=0}$ dell’operatore, il numero di giri $n_{\delta=0}$ della ruota e la portata $Q_{\delta=0}$ riversata nel canale di scarico, con l’addetto operante a potenza normale, 38 – 4.8. L’indice teorico di efficienza della ruota $(e=h_{\delta=0}/\varnothing)$, 41 – 4.9. L’avviamento ed il funzionamento a regime della ruota, 42	

- 45 **Capitolo V**
 Il modello iberico
 5.1. Il modello iberico, 45 – 5.2. La ruota tipo Rio Tinto. Il profilo teorico ottimale della bocca lato carico: il punto K*. Confronto con il profilo rilevato sul campione, 49 – 5.3. Il diametro interno della ruota ed il profilo bocca lato scarico, 53 – 5.4. La forma della bocca, 54 – 5.5. L'indice teorico di efficienza della ruota ($e=h_{t, \varnothing=0}/\varnothing$), 57 – 5.6. Sulla possibilità della movimentazione della ruota di Rio Tinto a forza di piedi da parte di un singolo operatore, 57 – 5.7. Andamento della portata scaricabile in funzione della altezza h_s cui è posto il canale di scarico, 60
- 63 **Capitolo VI**
 I probabili criteri di progettazione
 6.1. La progettazione della ruota Dolaucothi, 63 – 6.2. La progettazione della ruota Rio Tinto, 67
- 73 **Capitolo VII**
 Considerazioni conclusive
 7.1. Le condizioni ottimali di funzionamento delle ruote esaminate, 73 – 7.2. Confronto delle prestazioni fornite dai tre tipi di ruote esaminate, 74
- 75 *Bibliografia*
- 77 *Ringraziamenti*

PRESENTAZIONE

In uno dei periodici incontri con il collega ed amico Emilio De Lellis, dinanzi al caminetto, gustando un bicchiere dell'ottimo Shiraz prodotto da mio cognato Alfonso⁽¹⁾, è stato affrontato il discorso sull'importanza del linguaggio.

Mentre io elogiavo quello "ingegneristico" perché una formula è in grado di sopperire ad un fiume di parole, Emilio asseriva che le formule, a noi tanto care, in realtà allontanavano la maggior parte dei lettori e che, alla fine, il loro numero risultava inversamente proporzionale al numero di formule presenti nel testo.

Mi ha convinto; in effetti una formula risulta di facile lettura se la mente è allenata a farlo, ma di solito tale capacità arriva dopo anni spesi su libri di matematica o scientifici in generale, e non sono molti quelli che si appassionano a tali letture.

Mi sono riproposto allora di scrivere questo nuovo libro, completando con nuovi argomenti quelli già esposti nelle mie precedenti pubblicazioni (ma comunque perfezionati nella trattazione), cercando di non inserire formule al loro interno.

Intrigante ed appassionante entrare nella mente dei progettisti per seguire i loro ragionamenti, le intuizioni e le argomentazioni che li hanno portati ad abbandonare il prototipo di Vitruvio, per passare ai più efficienti modelli Dolaucothi prima e Rio Tinto poi.

Emozionante seguire la linearità e la semplicità dei ragionamenti che, al fine di ottenere le condizioni ottimali di funzionamento, li hanno portati a

(1) Per gli appassionati, si tratta di un Supertuscan, uno Shiraz in purezza denominato Arenite.

stabilire l'esatto quantitativo d'acqua da sollevare con il singolo compartimento, la posizione e la forma della bocca per il carico e lo scarico dell'acqua ed il diametro interno della ruota. Tutti fattori che, assieme, hanno consentito di far iniziare lo scarico esattamente alla stessa quota cui termina e di effettuarlo quindi entro il più ampio arco a disposizione.

I progettisti hanno applicato nella progettazione tutte le conoscenze matematiche e fisiche del tempo, confermando quanto espresso a suo tempo dal mio amico Prof. Arrighetti⁽²⁾:

le macchine romane risultano progettate e realizzate in linea con obiettivi di ottimizzazione del tutto coerenti con quelli che noi, al giorno d'oggi, siamo soliti prefissare.

Elettrizzante infine il constatare che *la più estrema e più squisita precisione matematica* che gli studiosi riconoscono *agli ingegneri dell'antichità nel campo delle opere d'arte ma non di una macchina*⁽³⁾ è invece presente, millimetrica, anche nelle ruote idrauliche.

(2) Ordinario di Macchine Università di Roma — La Sapienza.

(3) Alexandre Koyré — Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione. Bibliografia B8. Nel prosiegua la parola bibliografia verrà omessa. Il riferimento verrà semplicemente indicato col simbolo Bn.

CAPITOLO I

LE ORIGINI

1.1. Testimonianze letterarie

La data di nascita della ruota idraulica è di difficile determinazione.

Se ne trovano probabili tracce in:

- Septuagint, Ecclesiastes (250–200 a.C.) 12:6. Ove si fa un generico riferimento a “ruota”, ma potrebbe riferirsi indifferentemente sia ad un timpano che ad una ruota.
- Papiro di Edfou 8 (III sec a.C.): petizione di un abitante di Apollinare per una udienza con Tolomeo. Sembra trattarsi di una invenzione in grado di risolvere i problemi di siccità nelle aree non raggiungibili dalle inondazioni del Nilo (timpano, coclea, ruota, nuovo sistema di irrigazione?).
- Filone di Bisanzio (vissuto alla fine del III sec a.C.): *Mechanicae Syntaxis VII* (*Parasceustica*), 91 43–3. Cita ruote con contenitori per immettere acqua di mare nei tunnels scavati dai nemici assediati.
- Callixeno: *Peri Alexandreias* 1 (sotto il regno di Tolomeo IV Filopatore 221–205 a.C.) «esistono macchine per lo svuotamento di un bacino di carenaggio» (coclea?, ruota?).

Nessuna delle testimonianze soprariportate può confermare, con assoluta certezza, la presenza delle ruote idrauliche nei secoli III e II a.C.

CAPITOLO II

VITRUVIO

2.1. La ruota di Vitruvio

Occorre giungere alla seconda metà del I sec. a.C. per trovare una testimonianza finalmente concreta della ruota idraulica. Leggiamo da Vitruvio⁽¹⁾:

Se si deve sollevare l'acqua più in alto, si ricorre ad un principio analogo (a quello del timpano). La ruota attorno all'asse sarà di una grandezza tale da raggiungere l'altezza prestabilita. Sulla circonferenza di massimo diametro si fisseranno dei piccoli contenitori quadrati resi impermeabili con pece e cera. Quando la ruota sarà messa in rotazione dai piedi dell'operatore, i contenitori, sollevati pieni d'acqua, raggiunta la sommità e invertendo di nuovo il moto verso il basso, riverseranno in un canale quanto da loro sollevato.

Lo scritto molto scarno, ma essenziale, ha dato adito nel tempo a diverse interpretazioni, nessuna delle quali però rispecchiante alla lettera le parole dello scrittore.

Di solito in queste reinterpretazioni figurano delle varianti che se da una parte potrebbero costituire la testimonianza delle continue migliorie apportate alla macchina attraverso i secoli, dall'altra, e molto più probabilmente, potrebbero invece rappresentare una personale interpretazione degli autori o una loro semplice idea o un progetto mai realizzato.

(1) Br: X, IV, 3.

Nell'opera di Cesar Cesariano⁽²⁾ ad es. è rappresentata (v. fig. 1-a) una ruota a raggi, anziché a tamburo, anacronisticamente azionata da una manovella dispositivo non ancora noto ai tempi di Vitruvio.

Anche la forma dei contenitori appare del tutto improbabile. Una sezione a trapezio isoscele oltre a mal conciliarsi con la definizione di *modiolo quadrato* data dallo scrittore, non avrebbe consentito di scaricare, alla quota superiore, l'acqua sollevata (v. fig. 1-b).

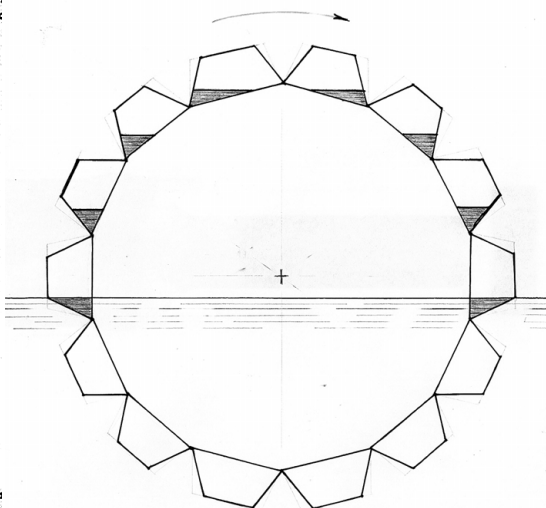
per leuando l'acqua nel basso e
il alto la mandano nel cas-
to recoperto della detta acqua
infundendo per per li Camini
coliderari ad questo modo quando la ruota da li homini ci
fara: li modioli pieni al alto eleuari & una altra fiera al
do opri per se infunderanno nel Castello quello che hane



sti loci. Questo e una ruota
mano per l'acqua anche
le due fopozioni non sono
una fiera. Castella nel sac-
co la detta fiera e quella che hane

E se in più alti loci fiera da effere data: nel sac de quella:
una fiera creata duplici involuta & al basso lindiameto
collocata: q' habia le cogale finite de aramo zurrante.

a.



b.

Figura 1. La ruota idraulica di Vitruvio secondo Cesar Cesariano.

Altro punto discutibile è l'applicazione dei contenitori sulla superficie cilindrica esterna della ruota, superficie che Vitruvio in ogni occasione definisce sempre come *frontem*.

Si legge infatti a proposito del timpano⁽³⁾:

- *circa frontem eius fingitur tabulae*: sul “fronte” del timpano si fissano le tavole per formare i contenitori e si lasceranno le aperture per l'entrata e l'uscita dell'acqua (v. fig. 2);

(2) Cesar Cesariano — Architetto milanese 1475(?)–1543. Per primo traduce in volgare il *De Architectura* di Vitruvio.

(3) Br: X, IV, 1–2.

e ancora a proposito delle ruote mosse dalla corrente dell'acqua:

- *circa earum frontes adfingitur pinnae*: sul loro “fronte” si fisseranno le pale per la movimentazione.

Lo scritto di Vitruvio precisa invece che i contenitori vanno fissati *ad circum extremum latum* (sulla circonferenza di diametro massimo), come ad indicare quale circonferenza scegliere fra tutte le possibili quando si vogliono applicare i contenitori lateralmente.

Precisa ancora Vitruvio che i contenitori devono essere abbastanza piccoli (come lascia intendere il termine *modiolo*⁽⁴⁾) ed a sezione quadrata (v. fig. 3).

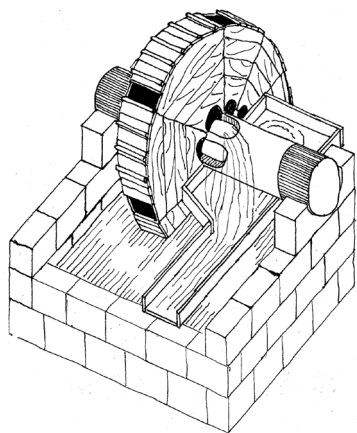


Figura 2. Il Timpano di Vitruvio. Vista assonometrica.

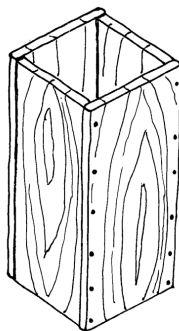


Figura 3. Modiolo quadrato.



Figura 4. Modiolo di bronzo del IV sec. a.C. con iscrizioni relative alla regolazione dei pesi e delle misure.

Tornando allora ad una interpretazione letterale dello scritto di Vitruvio (*ruota simile al timpano* cioè ad un tamburo — v. ancora fig. 2), si perviene ad una ruota piena ottenuta aumentando il diametro del timpano fino a raggiungere il piano su cui si vuole portare l'acqua e si inchiederanno lateralmente ed in corrispondenza della circonferenza di diametro massimo (fra tutte le possibili) dei piccoli contenitori a sezione quadrata (*modioli quadrati*), non meglio specificati, ma molto probabilmente simili a quelli usati nei mercati per la misurazione dei cereali che sicuramente dovevano presentare la bocca superiore completamente aperta (v. fig. 4) per consentirne un rapido riempimento ed una perfetta rasatura.

(4) 1 modius = 8,75 litri.

2.2. Il funzionamento a “tuffo”

Precisa ancora Vitruvio che, quando la ruota viene messa in rotazione dai piedi dell'operatore, i secchi raggiungono la sommità ricolmi d'acqua, lasciando intendere che questi si immergessero completamente nel pozzo di carico ben al di sotto del pelo libero, un funzionamento che può essere definito a “tuffo”.

Ed ancora, nello scritto citato, si precisa che i secchi scaricano l'acqua quando invertono il movimento, ad indicare una caduta verticale dell'acqua.

In conclusione si può affermare che la descrizione di Vitruvio sia riferita ad una ruota del tipo indicato in fig.5 con contenitori parallelepipedici laterali a bocca tutta aperta.

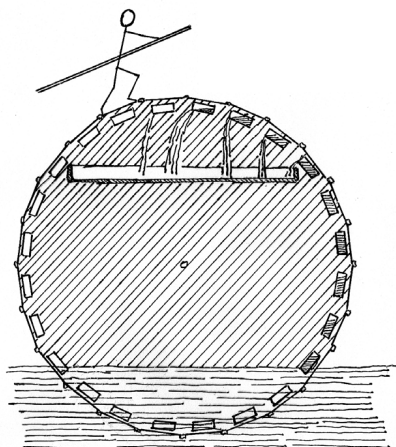


Figura 5. La ruota di Vitruvio. Fine I sec. a.C.

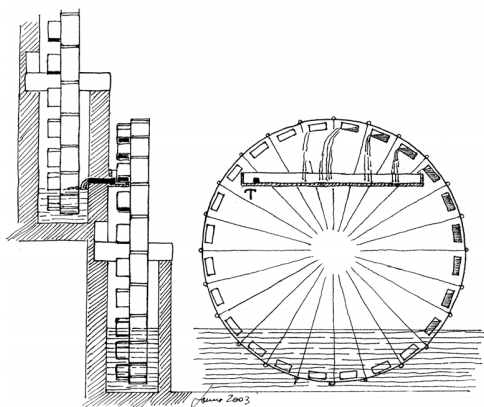


Figura 6. Sistema di alimentazione delle cisterne in impianti termali. Ricostruzione dell'impianto delle terme del Mitra in Ostia Antica. Fine I sec. d.C. circa.

Tracce di una ruota del tutto simile a quella descritta da Vitruvio si riscontrano nelle Terme del Mitra in Ostia Antica (v. fig. 6), ove il foro *T* per il passaggio dell'acqua dal canale di scarico della ruota inferiore al bacino di raccolta di quella superiore, interno alla traiettoria descritta dai modiolli in rotazione, è una chiara conferma della caduta verticale dell'acqua.

CAPITOLO III

DA VITRUVIO A DOLAUCOTHI

3.1. Le limitazioni nel funzionamento a “tuffo”

L'affermazione di Vitruvio secondo cui i *contenitori erano sollevati pieni d'acqua* lascia dedurre che questi si immergessero completamente nel pozzo di carico, e poiché in questi casi l'altezza di prelievo h_p e quella di inizio scarico h_{is} , sono dello stesso ordine di grandezza (v. figg. 7 e 8), ne segue che queste ruote non potevano garantire una altezza di sollevamento totale ($h_t = h_p + h_{is}$) molto elevata.

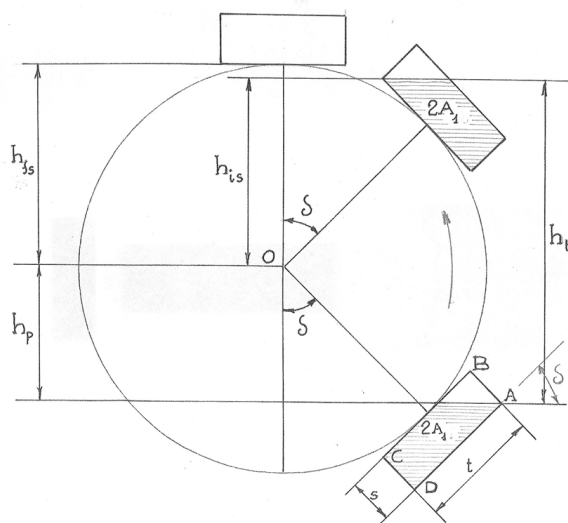


Figura 7. In una ruota con contenitori a bocca tutta aperta le altezze di prelievo h_p e di inizio scarico h_{is} sono dello stesso ordine di grandezza.

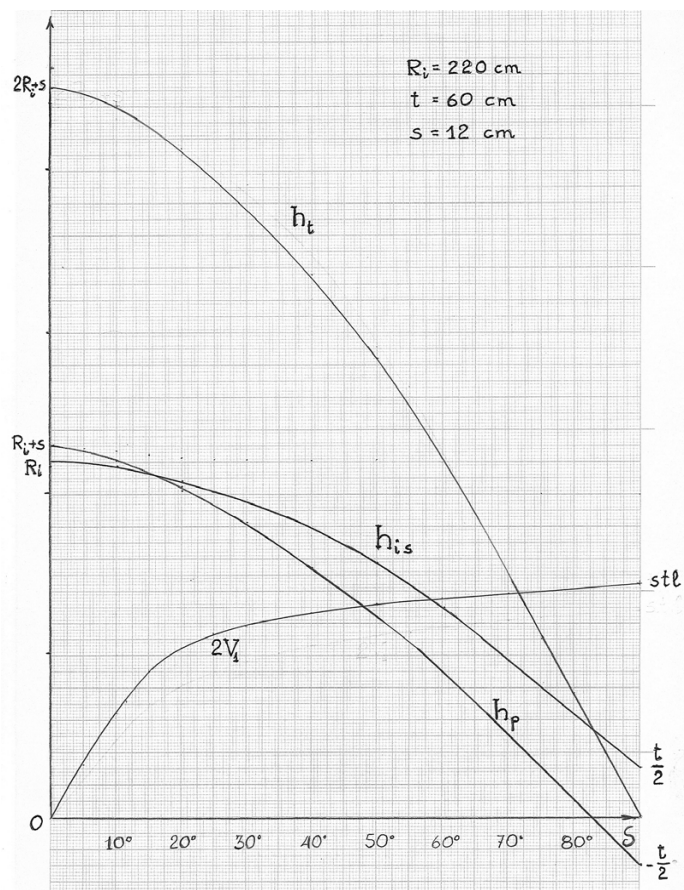


Figura 8. Andamento dell'altezza di prelievo h_p e dell'altezza di inizio scarico $h_{i,s}$ (in funzione dell'immersione misurata dall'angolo δ) di una ruota con contenitori a bocca tutta aperta.

Ad esempio nelle Terme del Mitra (v. ancora fig. 6), l'altezza totale di sollevamento raggiungeva appena il 60% del diametro della ruota.

Altro problema che si riscontra in questo tipo di ruote è una notevole difficoltà di movimentazione, dovuta alla resistenza esercitata dall'acqua sui modoli in rotazione al disotto del pelo libero.

La resistenza all'avanzamento che si esercita sul contenitore in fase di immersione, rimane in pratica trascurabile dal momento in cui il punto più basso della bocca (il punto A in fig. 9) inizia la sua immersione, fino a quando non arriva ad immergersi anche il punto D.