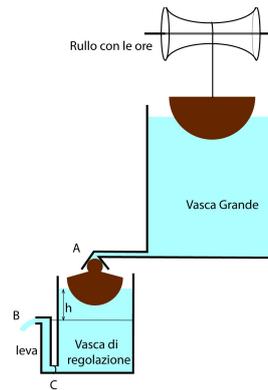


Orologio ad acqua



Manoscritto arabo
Abūlūnūyūs al-Naġġār al-Handasī



Il funzionamento dell'orologio si basa e su un principio di retroazione, che gli arabi attribuiscono ad Archimede, e sulla legge di Torricelli.

Principio di retroazione

Il liquido fuoriesce dalla vasca di regolazione dal pertugio B e di conseguenza il galleggiante si abbassa e apre la valvola A che fa passare del liquido dalla vasca grande alla vasca di regolazione facendo in tal modo scendere il grande galleggiante che fa ruotare il rullo che segna le ore. Il principio di retroazione garantisce che il livello del liquido presente nella vasca di regolazione si mantenga sempre allo stesso livello h e quindi la pressione esercitata dal liquido in B rimanga costante. Infatti se il livello del liquido dovesse abbassarsi, la valvola A si aprirebbe di più causando un innalzamento del liquido; viceversa se il livello dovesse alzarsi la valvola si chiuderebbe causando l'abbassamento del livello tramite il flusso di liquido uscente da B.

Legge di Torricelli

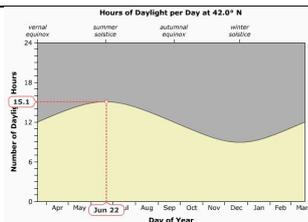
Per ottenere pressioni diverse e quindi tempi diversi di svuotamento è possibile ruotare manualmente la leva incardinata in C abbassando la posizione del pertugio B. A seconda della posizione di B possiamo calcolare il tempo di svuotamento della vasca grande usando il principio di Torricelli: *La velocità di uscita di un fluido che fuoriesce da una cisterna da una altezza h è uguale alla velocità che acquista un grave in caduta libera e che cade dalla stessa altezza h .*

Se v è la velocità, g l'accelerazione di gravità, h il dislivello abbiamo: $v=gt$, $h=\frac{1}{2}gt^2$, e quindi $v=\sqrt{2gh}$.

Il volume di acqua che esce alla velocità v da un pertugio B di raggio δ nel tempo t è dato dal volume del cilindro di altezza $s=vt$ e raggio δ . Il volume del cilindro è dunque:

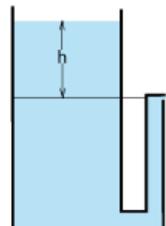
$$(*) \quad V = \pi \delta^2 s = \pi \delta^2 vt = \pi \delta^2 t \sqrt{2gh}$$

Calcoliamo i tempi di svuotamento per 15 litri di liquido contenuti nel serbatoio grande e nelle posizioni estreme della leva (orizzontale in inverno e verticale in estate).



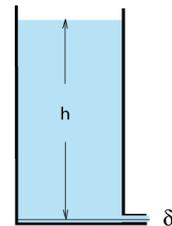
A Roma nel solstizio d'inverno il 23 Dicembre (il giorno più breve) la luce dura circa 9 ore, mentre nel solstizio d'estate il 22 di Giugno (il giorno più lungo) la luce dura circa 15 ore. Il rapporto è 3:5. L'orologio è costruito per una durata di 45 minuti per l'inverno e 75 per l'estate mantenendo il rapporto $45:75 = 3:5$

Estate



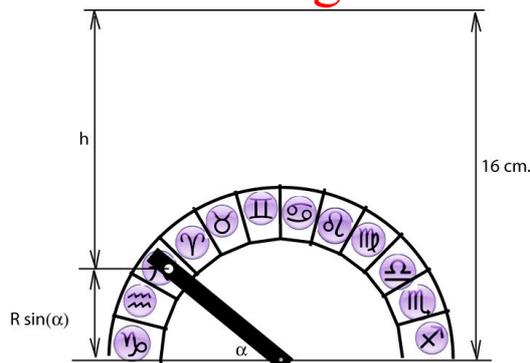
$V=15$ litri, $\delta=1$ millimetri,
 $t=75$ minuti e quindi
 $h \approx 5,8$ centimetri

Inverno



$V=15$ litri, $\delta=1$ millimetri,
 $t=45$ minuti e quindi
 $h \approx 16$ centimetri

Ore disuguali



Nel nostro modello l'altezza della colonna di acqua che fuoriesce dal pertugio vale, in corrispondenza dei diversi valori assunti dall'angolo α , centimetri $h = 16 - R \cdot \sin \alpha$, con $R = 10,2$ cm.

Il tempo di svuotamento del nostro recipiente espresso in minuti è dunque dato, al variare di α , dalla formula

$$(**) \quad t = \frac{V}{\pi \delta^2 \sqrt{2gh}} = \frac{V}{\pi \delta^2 \sqrt{2g(16 - 10,2 \cdot \sin \alpha)}} \approx \frac{180}{\sqrt{16 - 10,2 \cdot \sin \alpha}}$$

ottenuta risolvendo la (*) rispetto a t.

Ogni incremento di 15° a partire dal solstizio d'inverno corrisponde all'incirca all'inizio di un nuovo segno dello zodiaco (cuspidi), ovvero all'incremento temporale di un mese.

Nella tabella sottostante sono indicate (nella terza colonna da sinistra) le ore di luce corrispondenti al giorno riportato sulla prima colonna alla latitudine di Roma (circa 42° Nord) ed i tempi di svuotamento del recipiente del nostro orologio (ultima colonna a destra), calcolati in funzione di α mediante la formula (**).

		ore di luce	angolo α	R sin α	h	t
22 dicembre	 capricorno	9	0°	0	16	45'
21 gennaio	 acquario	9,6	15°	2,64	13,36	49'
19 febbraio	 pesci	10,7	30°	5,1	10,9	54'
20 marzo	 ariete	12	45°	7,21	8,79	60'
20 aprile	 toro	13,4	60°	8,83	7,17	67'
20 maggio	 gemelli	14,5	75°	9,85	6,15	72'
21 giugno	 cancro	15	90°	10,2	5,8	75'
22 luglio	 leone	14,5	105°	9,85	6,15	72'
23 agosto	 vergine	13,4	120°	8,83	7,17	67'
22 settembre	 bilancia	12	135°	7,21	8,79	60'
23 ottobre	 scorpione	10,7	150°	5,1	10,9	54'
22 novembre	 sagittario	9,6	165°	2,64	13,36	49'

Moltiplicando i dati della terza colonna per 60 (minuti in un'ora) e dividendo per 12 (ovvero moltiplicando per $5=60:12$), otteniamo la durata in minuti di una "ora disuguale" nel corrispondente giorno dell'anno. Poiché tale tempo risulta all'incirca uguale a quello calcolato tramite la (**), risulta verificato che il nostro modello di orologio batte con buona approssimazione le "ore disuguali" nel rapporto 1:12, ovvero ogni ora battuta dall'orologio corrisponde a 1/12 dell'ora disuguale reale.

I precursori dell'orologio ad acqua

Durante tutta la durata della storia l'uomo, soprattutto in epoca romana ha provato a costruire macchine che riuscissero a calcolare il tempo. Fra le più importanti abbiamo l'orologio ad acqua di Archimede, ma come si è riusciti a costruire uno strumento simile? È proprio da questa domanda che vi descriverò tutti i più importanti "predecessori" che hanno calcolato il tempo prima dell'orologio ad acqua e tra questi abbiamo: la meridiana, la clessidra, l'orologio ad acqua di Cesibio e l'orologio ad acqua di Al Jazari.

La meridiana

La meridiana è uno strumento che calcola lo scorrere del tempo tramite il moto "apparente" del sole. La meridiana è costituita da: uno stilo o un'asta (che a volte viene chiamata asta gnomonica) e una superficie sulla quale sono segnate delle linee talvolta con numeri romani che indicano l'ora di solito ha una forma emisferica. Il funzionamento è molto semplice e si basa sulla posizione del sole, infatti il sole con la sua luce proietta l'ombra dell'asta per farla congiungere con una delle linee orarie in modo da segnare l'ora esatta.



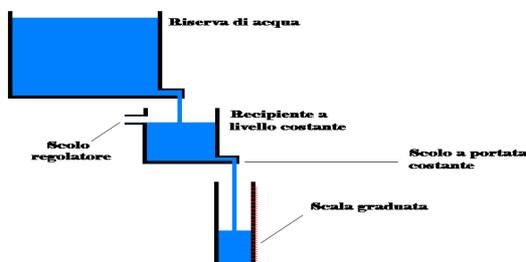
La clessidra

È uno dei più antichi strumenti per misurare il tempo e il primo indipendente da condizioni climatiche e astronomiche, il suo nome deriva dal greco κλεψύδρα (clepsidra) che ha come significato "ladro di acqua". La clessidra è formata in questo modo: In un unico recipiente con un foro sul fondo che la separa in due estremità una inferiore e una superiore. Il suo funzionamento è semplicissimo e viene utilizzato soprattutto per misurare degli intervalli di tempo e la sua durata dipende dalla grandezza del foro? mettendola in verticale essa dalla parte superiore svuota il materiale contenuto.



L'orologio ad acqua di Ctesibio

Questo è un precursore fondamentale per la creazione dell'orologio ad acqua di Archimede. L'orologio ad acqua di Ctesibio è formato in questo modo: Da un recipiente suddiviso da tre solchi in cui due avevano due fori per far fuoriuscire l'acqua. Questo orologio descrive l'andamento del tempo tramite il flusso dell'acqua, il superiore versa acqua in quello inferiore che presenta due aperture, una in alto e una in basso in modo tale da rendere omogeneo il flusso di acqua che uscendo entra nel terzo contenitore che segna lo scorrere del tempo grazie ad una scala graduata. Quindi lo scorrere del tempo è determinato dal tempo impiegato dell'ultimo contenitore per riempirsi.



L'orologio elefante di al-Jazir

Questo orologio è differente rispetto agli altri strumenti utilizzati per misurare il tempo, sia per struttura, sia per funzionamento. L'orologio era strutturato in questo modo: Aveva dei regolatori di flusso d'acqua e un meccanismo costituito da un galleggiante all'interno di un serbatoio d'acqua (come l'orologio di Archimede). Il galleggiante era costituito da un piccolo foro calibrato che permetteva l'immersione ad una certa velocità. Il funzionamento viene quindi determinato dalla gravità il galleggiante trascinava una leva che lasciava cadere delle sfere metalliche dentro un recipiente (a forma di serpente) che si abbassava per il peso determinando l'oro che veniva scandito con differenti suoni per esempio di uccelli o cembali (tipo di percussione simile ai piatti)

