

Il tempo che scorre

di Anna Greco

Nel linguaggio quotidiano la parola clessidra ci porta subito a pensare alla sabbia che si muove tra due bulbi di vetro collegati e sovrapposti per misurare il passare del tempo.

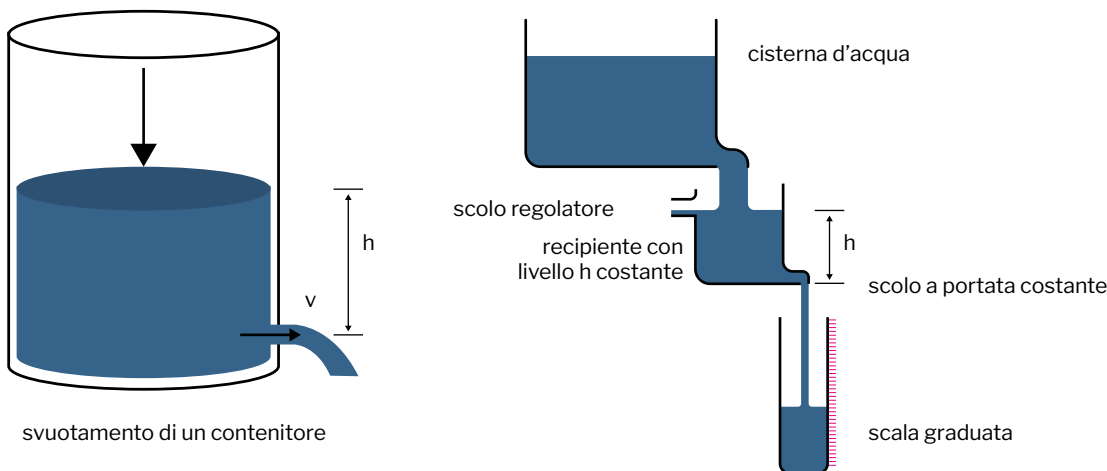
Eppure, l'etimologia della parola viene dal greco *klepsýdra*, che significa "orologio ad acqua", composto di *klépto*, "rubare", e *hýdor*, "acqua". Le prime clessidre, infatti, erano diffuse nell'antichità come strumenti di misura del tempo basati sul fluire dell'acqua da o verso un recipiente graduato, mentre le clessidre a sabbia comparvero molto tempo dopo, si ipotizza nel Medioevo. Una delle più antiche è la clessidra egizia di Karnak, risalente al tempo del faraone Amenofi III, intorno al XIV secolo a.C. e conservata oggi al Museo Egizio del Cairo. La clessidra di Karnak consiste in un vaso di alabastro con un foro vicino al fondo e al cui interno sono incise delle tacche. È una "clessidra a svuotamento": l'acqua inserita nel vaso graduato defluiva gradualmente dal foro e il passare del tempo veniva misurato valutando l'abbassamento del livello dell'acqua all'interno del vaso, confrontandolo con le tacche. Gli studiosi pensano che questo strumento venisse utilizzato per determinare l'ora durante la notte ed eseguire i riti sacri all'ora corretta. Le clessidre ad acqua avevano infatti il vantaggio di poter essere utilizzate anche di notte e in giornate senza sole, a differenza delle meridiane.

La misura così realizzata, però, era poco precisa: la velocità di fuoriuscita dell'acqua dal foro non è costante, e di conseguenza lo svuotamento del vaso non avviene nello stesso tempo per tutta la durata del fenomeno. Anche nelle clessidre a riempimento, in cui il passare del tempo è indicato dal crescere del livello dell'acqua che cade in un recipiente graduato da una cisterna posta più in alto, si pone lo stesso problema, poiché la velocità di riempimento e di svuotamento è difficile da controllare.

Oggi possiamo descrivere il fenomeno attraverso la legge di Torricelli (1643), che descrive la velocità v di fuoriuscita dell'acqua dal foro in funzione del livello del fluido nel recipiente, indicato come h : $v = \sqrt{2gh}$, dove g è l'accelerazione di gravità. Man mano che l'acqua nel recipiente diminuisce – ossia, diminuisce il valore di h – anche la velocità con cui l'acqua scorre fuori dal foro diventa sempre più piccola (vd. fig. a, a sinistra).

La soluzione più immediata al problema viene attribuita a Ctesibio, ingegnere e inventore della Grecia antica, vissuto intorno al III secolo a.C. Il suo orologio ad acqua, che supera in complessità e precisione la clessidra, viene descritto dallo storico e architetto romano Vitruvio nel suo *De Architectura* (30-15 a.C.).

Ctesibio introdusse un secondo recipiente tra la cisterna e il recipiente graduato, in cui si sarebbe



a.
La velocità di uscita dell'acqua da un contenitore con un foro alla base dipende da h secondo la legge di Torricelli. A sinistra h è variabile. Nel caso di un orologio ad acqua di Ctesibio (a destra), h viene mantenuta costante.



b.
L'orologio ad acqua
sul Pincio, nella Villa
Borghese a Roma.

mantenuto costante il livello dell'acqua proveniente dalla cisterna cosicché la fuoriuscita diretta al recipiente graduato avvenisse a velocità costante. Il punto chiave, quindi, è il recipiente centrale, che deve avere un piccolo foro da cui può fuoriuscire l'acqua in eccesso (vd. fig a, a destra).

Un orologio ad acqua di questo tipo si può riprodurre a casa o in classe, con materiali semplici da reperire, come descritto dalla scheda di lavoro sugli orologi ad acqua sul sito del progetto INFN Lab2Go (vd. https://lab2go.roma1.infn.it/doku.php?id=fisica:esperimenti_a_casa:orologio_ad_acqua).

L'orologio di Ctesibio descritto da Vitruvio, in realtà, è molto più complesso di quello appena descritto, perché collega la misura del tempo non all'osservazione della scala graduata nel recipiente "finale", ma alla presenza di un galleggiante in quest'ultimo, che sale al salire del livello dell'acqua. Il galleggiante è a sua volta collegato con una scala graduata che indica le ore del giorno e che si muove nel tempo, tenendo conto del passare dei giorni e della diversa durata della giornata nel corso dell'anno. Inoltre, l'orologio di Ctesibio tiene conto di accortezze tecniche come il materiale in cui erano realizzati i recipienti e i fori di uscita dell'acqua per evitare che si alterassero nel tempo a causa dell'erosione o del deposito di impurità e incrostazioni che avrebbero potuto modificare la velocità di fuoriuscita del liquido.

Oltre che in Egitto e in Grecia, le clessidre e poi gli orologi ad acqua si svilupparono in molte regioni del mondo antico con caratteristiche diverse. Orologi ad acqua pubblici erano presenti a Roma sin dall'età repubblicana, tradizione proseguita pare durante l'età imperiale. Nel mondo arabo, comparvero raffinatissimi orologi ad acqua con effetti spettacolari e piccoli automi, ad opera di Ibn al-Razzāz al-Jazarī, nel XII secolo d.C. In India testi vedici e opere astronomiche descrivono diversi strumenti, come ciotole perforate, utilizzati per misurare intervalli regolari di tempo, mentre in Cina le clessidre, apparse tra il II e il I millennio a. C., raggiunsero una notevole complessità, con galleggianti, ruote idrauliche, ingranaggi, fino alla costruzione della torre astronomica di Su Song nell'XI secolo.

Gli idrocronometri moderni sono molto accurati ed è possibile visitarne alcuni in Italia. Due sono a Roma, uno nel giardino del Pincio, all'interno del parco di Villa Borghese, e uno nel cortile di palazzo Berardi (in via del Gesù n. 62), al centro della città, entrambi costruiti dal frate Giambattista Embriaco (1829-1903) sul finire dell'800 e al momento inattivi. Di più recente costruzione è l'idrocronometro di Fondo, in Val di Non, terminato nel 2010 dall'orologiaio Giuliano Zanoni e posto nella piazza centrale del paese, in una teca di vetro dalla quale è possibile osservare il meccanismo in funzione.