

Il *foliot*: regolatore inerziale del tempo in un modellino di orologio medievale

The *foliot*: an inertial time regulator in a model of a medieval clock

Pietro Cerreta

Associazione ScienzaViva, Centro della Scienza, Calitri (Av)

GIORNALE DI FISICA, VOL. LXIII, N. 1 Gennaio-Marzo 2022 DOI 10.1393/gdf/i2022-10462-8

<https://www.sif.it/riviste/sif/gdf/econtents/2022/063/01>

(c) Società Italiana di Fisica "Per gentile concessione della Società Italiana di Fisica"

## Riassunto

Nessuno sa e probabilmente saprà mai chi inventò l'orologio medievale, forse un comune fabbro ferraio, ma quale che fosse il suo nome, questi deve essere stato un vero e proprio genio. Per apprezzarne l'ingegno non bastano però le descrizioni fornite dai libri: bisogna anche osservare da vicino quel complesso gioco di parti mobili che caratterizza l'apparecchiatura e in particolare il ruolo dello «scappamento *verga-foliot*» su cui essa si basa. Se non si ha a disposizione un esemplare originale del congegno è consigliabile adoperare, come abbiamo fatto noi, un modellino capace di attualizzarne le funzioni. Questo rivelerà la natura dell'interazione dinamica dei vari elementi del dispositivo, che si muovono grazie al traino di un peso cadente. Risulterà così palese che il *foliot*, oscillando da una parte all'altra dell'asse della *verga*, funge da regolatore inerziale del "tempo proprio" dell'orologio: un'applicazione niente affatto banale per quei tempi.

## Summary

Nobody knows and probably will ever know who invented the medieval clock, perhaps a common blacksmith, but whatever his name was, he must have been a real genius. To appreciate his ingenuity, however, descriptions provided by books are not enough: one must also closely observe that complex play of moving parts that characterizes the device and, in particular, the role of the "*verge-foliot* escapement" on which it is based. If an original specimen is not available, it is advisable to use, as we did, a model capable of actualize its functions. This will reveal the nature of the dynamical interaction of the various elements of the device, which move thanks to the pull of a falling weight. It will thus be clear that the *foliot*, swinging from one side to the other of the axis of the *verge*, acts as an inertial regulator of the "proper time" of the clock: a non-trivial expedient for those times.

### 1. «Avete mai veduto un orologio medievale, in azione?»

Ci sono cose che i libri, da soli, non sono in grado di spiegare [1]. È il caso, ad esempio, del meccanismo su cui si basa l'orologio medievale (fig.1), tecnicamente chiamato lo «scappamento *verga-foliot*». Descrizioni testuali di questo congegno non sono bastate, purtroppo, a farmi comprendere come avrei voluto il singolare gioco di parti mobili che ne garantisce il funzionamento. A poco sono valsi, infatti, eleganti schemi grafici e belle fotografie a colori trovati, a corredo di quei testi, in pagine di riviste scientifiche e di libri d'antiquariato. Mi sono convinto che si non trattava di una difficoltà solo mia, questa, se Otto Mayr, Direttore del *Deutsches Museum* di Monaco di Baviera, nel suo libro sui primi meccanismi automatici dell'Europa moderna, era giunto già tempo fa alla seguente inequivocabile conclusione:

«Lo scappamento *verga-foliot* fu un'invenzione di radicale originalità. La complessità del suo funzionamento e l'ingegnosità con la quale è stato ideato sorpassava di gran lunga tutte le precedenti invenzioni meccaniche. La sua struttura caratteristica, l'interazione dinamica di diverse parti così accuratamente sintonizzate, è quasi

impossibile da descrivere a parole o illustrare in un'immagine bidimensionale; per comprenderla appieno, bisogna mettere le mani su un esemplare funzionante» (vedi [2], p. 5).



Fig. 1. Meccanismo di orologio da campanile con scappamento a *verga* e *foliot*, realizzato in Italia settentrionale alla fine del XIV secolo. Crediti: "Museo Galileo, Firenze. Foto Sabina Bernacchini"

Chiediamoci allora: è realmente possibile, ai nostri giorni, trovare esemplari funzionanti di orologi medievali? La risposta è certamente sì, ma si tratta di reperti piuttosto rari e quindi non è poi così facile andare a metterci «le mani» sopra, come suggeriva Mayr. Fortunatamente scampati alle varie modifiche eseguite dal Seicento in poi, a seguito dell'introduzione progressiva del pendolo al posto della coppia *verga-foliot*, i congegni originali di tal tipo oggi rimasti "in vita" sono infatti veramente pochi. Perciò, essi risultano talmente preziosi che le istituzioni museali, a cui sono affidati, li conservano con così tanta cura da non concederli senza prudenza alla curiosità di chiunque voglia esplorare con le proprie mani le loro caratteristiche funzionali.

Tutto ciò mi ha convinto che, volendo appagare il desiderio di carpire il segreto principio donde nasce la sincronia tra la coppia *verga-foliot* e le altre parti dell'orologio medievale, è opportuno ricorrere ad un modellino facilmente realizzabile. Il kit di *Reinventore*<sup>1</sup> a tal proposito mi è stato molto utile.

Infatti, montati i pezzi del kit, ai miei occhi è apparsa subito una macchina (vedi fig.2) che, pur in modo essenziale e con materiali di uso comune, traduceva molto bene le funzioni sulle quali si articolavano le apparecchiature costruite tanti secoli fa. In particolare, essa era capace di rendere evidente proprio quell'accurato sincronismo delle "diverse parti" interagenti a cui accennava il Direttore del famoso Museo bavarese.

Il lettore potrà agevolmente osservare il suddetto modellino nel video intitolato «Orologio Medievale»<sup>2</sup> da me realizzato, riprendendone il funzionamento con una telecamera.

Sono convinto che queste immagini in movimento, benché "bidimensionali" e pertanto solo parzialmente efficaci secondo il criterio di Mayr, sono però capaci di lasciare, in chi le osserva, quell'impressione realistica dei fatti che un testo anche ben curato non saprebbe lontanamente rivelargli. Ormai si sa, basta una breve sequenza di ripresa, eseguita anche con un comune

---

<sup>1</sup> *Reinventore* è una casa produttrice di apparecchiature per la didattica legate alla storia della scienza (vedi «Costruzione Orologio Medievale»: <https://youtu.be/HVZ9Rkl3e8M>). Ringrazio particolarmente Beniamino Danese [3], [4] e Stefano Oss [4], per l'arricchimento culturale ricevuto dai loro articoli sull'argomento.

<sup>2</sup> <https://youtu.be/5OiviUzALKQ>

smartphone, a dar conto immediato di ciò che altrimenti avrebbe richiesto per iscritto una lunga e lenta costruzione sintattica. Oggi anche semplici clip video possono svolgere in didattica funzioni esplicative così efficaci che solo dieci-quindici anni fa, prima che si affermasse lo standard

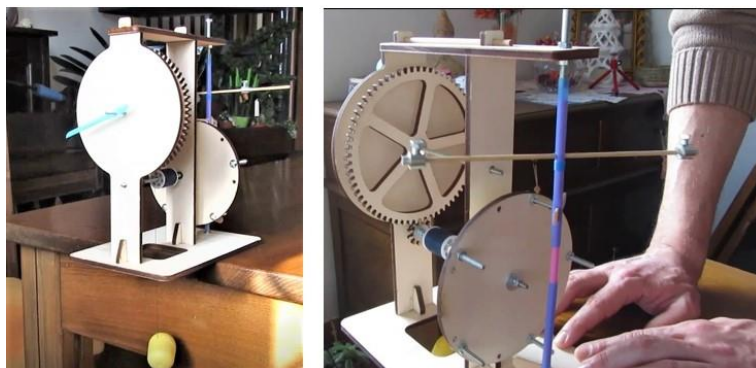


Fig. 2. Il modellino di orologio medievale. A sinistra è mostrata la sua parte frontale, in cui si vede, sopra, la lancetta e, in basso, il peso trainante. A destra, il retro dello stesso congegno, con gli ingranaggi e la sbarretta orizzontale oscillante, il *foliot*, recante due masse uguali agli estremi e retta da un albero centrale, la *verga*.

comunicativo rapido ed incisivo dei social, era impensabile concepire. Con esse, un dato fenomeno acquista visivamente eloquenza immediata, un pregio di valore educativo solo di poco inferiore a quello ottenibile mettendoci direttamente le mani sopra o, come si dice oggi, *hands-on*.

Mi auguro dunque che, nel guardare il video qui proposto, il lettore venga incoraggiato a prender esempio dalla mia esperienza e costruisca da sé un analogo dispositivo, verificando così di persona la sorprendente dinamica delle cause e degli effetti negli elementi interagenti.

Innanzitutto, vorrei che egli vi notasse il movimento rotatorio della lancetta posta sul fronte dell'orologio (fig.2, a sinistra, sopra) causato da un peso trainante, che nel nostro caso è un contenitore di plastica zavorrato, di colore giallo (fig.2, a sinistra, in basso). Nel contempo, mi piacerebbe che cogliesse la sintonia di detto movimento con l'oscillazione di quella sbarretta orizzontale che reca ai suoi estremi due masse uguali (fig.2 a destra) ed è comunemente denominata *foliot*.

È molto probabile che, con questo curioso nome, *foliot*, gli antichi orologiai volessero esprimere il singolare via vai del dispositivo oscillante escogitato per regolare il tic tac dell'orologio da loro inventato. Tuttavia, non siamo a conoscenza della precisa genesi semantica di tal nome. Gli studiosi che si sono interessati dell'argomento hanno formulato diverse ipotesi etimologiche<sup>3</sup>.

Confesso che, appena completato il montaggio degli elementi del kit, mentre osservavo il funzionamento del modellino, ho provato anch'io quella meraviglia che Antonio Simoni (vedi [7], p.18), storico dell'orologeria, così descrive:

«Avete mai veduto un orologio medievale in azione? Potrà sembrare incredibile a chi non lo ha veduto, ma dal ritmico e continuo vibrare di quella specie di spiritello della barra del bilanciante [il *foliot*], dal guizzare della serpentina, mentre le altre parti sembrano immobili, consegue una sensazione di cosa viva da restare incantati. È uno spettacolo che non ci si stanca di stare a guardare: infinitamente più suggestivo che non l'oscillare di un pendolo o il veloce vibrare dei bilanciari moderni. Il mondo umanistico ne fu estasiato e percosso di meraviglia».

<sup>3</sup> Secondo Mascheretti, il termine è «derivato dal francese *folier*, *faire le fou*: folleggiare e, per estensione, andare da una parte e dall'altra come un folle» [vedi [5], p.22]. Redondi sostiene, invece, che derivi sì dal francese, ma dal termine «*fléau* (risalente a sua volta al termine latino *flagellum*, la frusta o il mulinello da cucina) e indicava il gioco della bilancia, ovvero la leva oscillante che costituisce una bilancia» [vedi [6], p.73].

Insomma, di quel “ritmico e continuo vibrare” del *foliot* non avrei avuto alcuna percezione se non avessi visto il congegno in azione. Di primo acchito, anche a me è sembrato che non ci fosse alcun nesso causale, come riferisce Simoni, tra la trazione del peso e l’andirivieni del *foliot*: il primo scendeva giù con lentezza, al punto da sembrare quasi fermo, mentre il secondo sembrava davvero animato di «vita propria», come si può benissimo riscontrare dal video a cui ho poc’anzi accennato<sup>4</sup>.

Nel modellino, il *foliot* è costituito da uno spiedo di legno, corredato di due piccole masse simmetriche scorrevoli, la cui indispensabile presenza sarà chiarita nel seguito. Per comodità ho scelto di adoperare, per esse, due morsetti serrafilo con vite laterale perché, fatti slittare lungo l’asticella orizzontale, è facile poi stringerli nelle posizioni volute<sup>5</sup>.

Ma com’era fatto il *foliot* di un esemplare originale? Possiamo farcene un’idea osservando l’incisione (fig.3) riportata circa due secoli fa da Pierre Dubois nella sua *Histoire de l’Horlogerie* (vedi [9], p. 221). Tra gli elementi «primitivi» del congegno medievale su cui fissa l’attenzione Dubois c’è anche il bilanciere ed egli ci ricorda, senza però spiegarne il motivo, che quell’oggetto «allora era chiamato *foliot*». Aggiunge solo che le due piccole masse che vi compaiono, appese alle sue estremità erano denominate *régules*. Tali *régules*, egli subito specifica, «servivano a far avanzare o ritardare l’orologio» (vedi [9], p.220) ma non inserisce alcuna altra indicazione riguardo al modo di usarle. È perciò necessario spiegare qui la funzione da loro assolta in un compito così delicato.

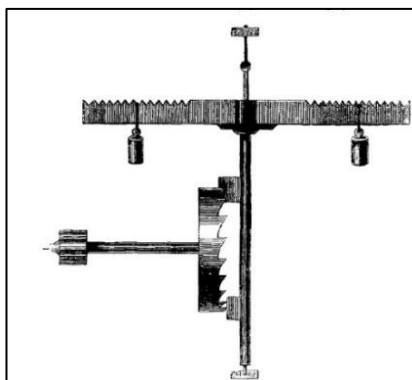


Figura 3. Al centro, in verticale, la verga che regge il *foliot* e i due pesi uguali simmetricamente disposti su quest’ultimo. Sulla verga (a sinistra), l’una sopra e l’altra sotto, appaiono infisse due palette divaricate, col compito di interagire con la corona dentata (anch’essa a sinistra), a sua volta mossa dal peso trainante dell’orologio (non presente nell’incisione). Immagine tratta da: Dubois P., *Histoire de l’Horlogerie Depuis Son Origine Jusqu’à Nos Jours: Précédée de Recherches Sur La Mesure Du Temps Dans l’Anti*, 1849.p. 221

Cominciamo col notare, per prima cosa, che i «bracci» nella traversina del *foliot* appaiono zigzagati. È facile intuire che il fabbro, nel profilarli in tal modo, cioè con incavi contigui e paralleli, abbia risposto ad una precisa esigenza tecnica: quella di far sì che le due masse, una volta appese a cavità assegnate, non subissero spostamenti nel “vai e vieni” tipico della sbarretta. I nostri morsetti

<sup>4</sup> Simoni precisa subito dopo: «Alla base della meraviglia, in definitiva, è il sapere: bisogna che quello che meraviglia possa essere giudicato, a priori, impossibile. Nel caso: la causa dell’effetto (la trazione del peso) è nota, ma stupisce il fatto che non sia palese. Bernardino Baldi, ancora avanti nel Cinquecento dice in proposito: *i contrappesi degli orologi si vedono, e pure si ha la sensazione che la cosa si muova da sola* ed osserva poi come questo particolare effetto di cosa animata da vita propria non consegua ogni qual volta l’azione del motore sia palese, come nel caso del carro tirato dal cavallo o della ruota del mulino che l’acqua fa girare: nell’uno e nell’altro caso la causa del moto è troppo evidente» (vedi [7], p. 18). Simoni riafferma, in altri termini, quel potere che esercita in ciascuno di noi la meraviglia, di cui già Aristotele aveva scoperto l’importanza. Berti così riassume ciò che il filosofo greco scriveva all’inizio della *Metafisica*: «Tutti gli uomini tendono al sapere...Gli uomini, sia ora sia in principio, cominciarono a filosofare (cioè a cercare il sapere) a causa della meraviglia» [8].

<sup>5</sup> Si tratta di una variante da me apportata al kit di *Reinventore* perché trovo che i morsetti serrafilo sono più comodamente gestibili rispetto ad altri materiali.

serrafilo, a cui abbiamo accennato, non sono altro, dunque, che i corrispondenti moderni di tali masse sospese.

La frequenza di oscillazione del *foliot* dipendeva, infatti, proprio dal posto attribuito a quei piccoli pesi. E l'addetto «a far avanzare o ritardare l'orologio» (vedi [9], p.220) non doveva far altro che spostarli a mano, a destra o a sinistra, lungo lo zigzag dei suoi "bracci". Questo ingegnoso e pragmatico metodo di regolazione del tempo, escogitato in epoche così remote, sarà oggetto di approfondimento nelle pagine successive.

Ed ora prendiamo in esame altri elementi della stessa figura. Cominciamo con quell'albero centrale, denominato *verga*, che regge la traversina di cui si è detto poco fa e con essa forma una sorta di T. Dalla *verga*, e precisamente dal suo lato sinistro, si vedono fuoriuscire due sporgenze, le cosiddette *palette*, inserite sul suo asse, l'una sopra e l'altra sotto. Chi le guarda avrà certamente l'impressione che la *palette* superiore sia più lunga dell'inferiore ma, in realtà, non è così. Non essendo complanari, bensì divaricate di circa 90° a causa delle mansioni che avrebbero dovuto svolgere, è solo la prospettiva del disegno a farle apparire diverse.

L'artigiano che le concepì in questo modo, ormai otto secoli fa, voleva infatti che le *palette* interagissero alternativamente con i denti aguzzi della *corona* dentata che, in figura, stanno proprio di fronte ad esse.

Cosa avviene in realtà tra la *corona* e le *palette* l'una a sinistra e le altre a destra nella figura del libro di Debois è tuttavia, dal disegno, solo vagamente intuibile. Allora si rende necessario fare un passo indietro, soffermarsi un attimo sulla causa del moto che è il peso, detto per tal motivo "trainante", e, da essa, seguire via via gli effetti fino alla collisione tra le parti in questione. Ho realizzato perciò un altro video<sup>6</sup> col quale prendo in esame i particolari relativi all'azione trainante del peso. Quest'oggetto, nel nostro modellino, pende da un filo da cucito avvolto su un rocchetto, a sua volta inserito sull'asse della corona dentata. Il rocchetto può considerarsi dunque una sorta di carrucola, mediante la quale l'asse orizzontale gira ed obbliga la *corona* a muoversi.

Sono i denti della *corona*, dunque, che vanno a colpire le *palette* con urti successivi sicché la *verga*, su cui esse sono innestate, è costretta ad oscillare da una parte all'altra, trasferendo tal moto al *foliot*. Se le palette fossero rivolte dalla parte opposta ad esempio, cioè non contro i denti della corona, il peso cadrebbe senza freni, come si può riscontrare nello stesso video, e a nulla servirebbero il *foliot* e le sue masse.

Nello schema statico di Dubois non c'è, però, la raffigurazione del peso cadente a cui l'artefice del congegno aveva affidato il compito di muovere l'intero meccanismo. Tuttavia, anche se vi fosse comparsa, il limite che accomuna questa figura descrittiva a tante altre, in pubblicazioni antecedenti o contemporanee, è la carenza di percezione della dinamica del congegno. Ciò conferma la tesi di Mayr: il caso dell'orologio medievale è così complesso che le sole parole e qualche disegno non bastano a spiegarlo.

In articoli recenti, però, c'è da apprezzare una più puntuale sensibilità verso l'esigenza dei lettori contemporanei di cogliere visualmente lo svolgersi dei fatti, tant'è che i loro autori, con molta attenzione alle parole usate e con una grafica attenta, si sforzano di risolvere al meglio le difficoltà interpretative che l'argomento in sé comporta, anche se sanno che alla fine non riusciranno ad essere completamente esaurienti.

È giocoforza, dunque, che io riconduca il lettore ancora una volta al video da me proposto inizialmente. In esso, pur servendomi di immagini solo bidimensionali, indugio abbastanza sui principali

---

<sup>6</sup>[https://youtu.be/IMXcJtz\\_nfs](https://youtu.be/IMXcJtz_nfs)



meccanismi in gioco, riprendendo da più angolature visuali quelle interazioni che la fig. 3 non mostra o non riesce sufficientemente a chiarire.

Per chi non fosse in grado di accedere al video, intanto, può essere utile che mi soffermi, anche solo un momento, sulle due immagini della fig.4: quella di sinistra offre subito al suo sguardo la composizione attualizzata del dispositivo *verga-palette* che avrebbe visto in azione e, a destra, un quadro sinottico degli elementi così come essi sono stati realizzati nel modellino di cui si parla.

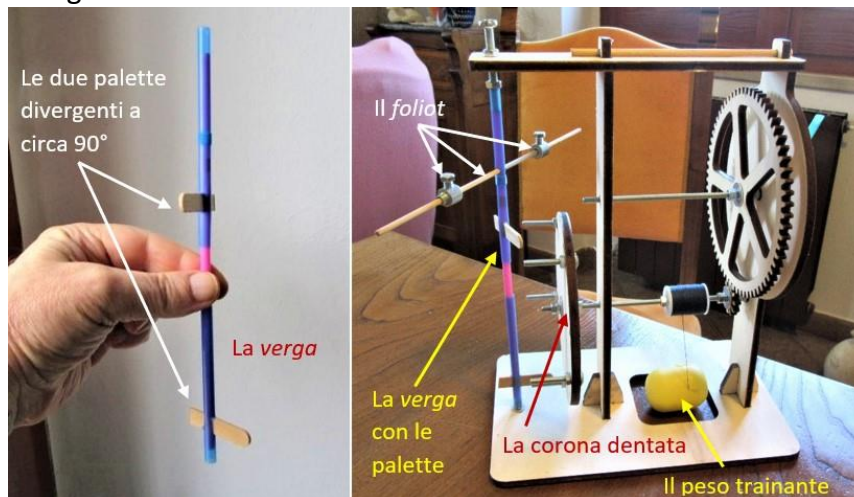


Figura 4. L'interazione *corona* dentata-*palette* in un modellino di orologio medievale. A sinistra, la *verga* costituita da una cannuccia di plastica con le sue due palette divergenti. A destra, la *verga* che regge il foliot ed interagisce, tramite le palette, con la corona dentata; a fianco, il contenitore zavorrato di colore giallo che costituisce il peso trainante. Si noti, sulla base del modellino, il foro passante per il peso in caduta.

I denti della *corona*, qui semplici perni metallici, col loro continuo urtare contro le *palette*, lo ripeto, spingono la *verga* a girare, di qua e di là, intorno al suo asse verticale. Con esse, ruota anche il *foliot* sovrastante, volando da una parte all'altra senza sosta.

In questo viavai, il *foliot* si ferma solo per un attimo, per cambiar verso, e poi riparte all'indietro, con una velocità legata proprio alla posizione relativa delle masse ad esso sospese, come accenna Dubois. Un apposito ingranaggio trasferisce alla lancetta frontale il ritmo di questo movimento e la fa ruotare sul quadrante.

Gli urti periodici dei denti della *corona* contro le palette della *verga* hanno anche il compito di interrompere la caduta del peso trainante, seguendo proprio il ritmo del *foliot*. È necessario, infatti, che l'oggetto cadente non abbia il tempo di accelerare e che, anzi, scenda con velocità il più possibile costante, affinché il giro della lancetta del tempo sul quadrante delle ore sia davvero uniforme [vedi [10], p. 121].

Nel nostro caso, come si è già detto, il peso è costituito dal contenitore zavorrato di colore giallo che si vede nelle figure. Esso è sospeso ad un rocchetto di filo da cucito, la "carrucola", il cui asse coincide con quello della *corona* dentata. Il filo, dunque, sostituisce qui la corda impiegata negli esemplari originali. Si noti, infine, il foro predisposto sulla base del modellino per lasciar passare il peso trainante durante la sua caduta.

## 2. Il *foliot* e lo scappamento

Torniamo ora alle due masse sospese ai «bracci» dell'antico *foliot* descritto da Dubois. Abbiamo già detto che, variando la distanza tra queste, gli utenti di tanto tempo fa hanno imparato a cambiare la frequenza della sua oscillazione, ma dobbiamo chiarire che solo in seguito se ne apprese la ragione in termini fisici, cioè che l'avanzare o il ritardare l'orologio dipende dalla modificazione del momento d'inerzia del dispositivo. Tale frequenza è dunque l'inverso del tempo proprio dell'orologio e perciò oggi il *foliot* viene definito anche *regolatore inerziale dell'orologio* [vedi [5], pp. 19-23].

È evidente, perciò, che nel Duecento, quando questi congegni cominciarono a comparire sulla scena, gli artigiani che li adoperarono dimostrarono di aver ben intuito, genialmente<sup>7</sup>, le proprietà dell'inerzia rotazionale. Purtroppo si sa poco sulle loro figure umane e sulle conoscenze da loro possedute.

Nel modellino qui utilizzato, la *verga* è costituita come s'è visto da una cannuccia di plastica, in cui vengono infilate le palette di legno<sup>8</sup>, simili a quelle a cui abbiamo accennato dianzi, una sopra e l'altra sotto, ad una certa distanza, e divergenti tra di loro di circa 90°, come è mostrato in Fig. 4, a sinistra. Esse hanno il compito di frenare a tratti la corona dentata<sup>9</sup>, a sua volta messa in moto dal peso trainante che, attaccato ad un filo da cucito, lo si è detto, scende da un rocchetto cilindrico<sup>10</sup>, com'è evidenziato nel video del modellino.

Lì si vede che i due pezzetti di legno, partecipando al ritmo del sistema *verga-foliot*, colpiscono con urti anelastici<sup>11</sup> i denti della corona suddetta ed interrompono per un momento la caduta del peso trainante. Dopo ogni urto, ripartendo da fermo, il peso trainante agisce proprio su quella palette che l'ha fermato, spingendola indietro e rimettendola in moto insieme alla *verga* e al *foliot*. Questa azione, in cui una palette prima incappa in un dente e poi ne scappa muovendosi all'indietro, viene per tal ragione denominata lo «scappamento» a *verga* e a *foliot*<sup>12</sup> ed è ciò che fa fermare e riprendere il moto della lancetta dell'orologio con la sua tipica regolarità<sup>13</sup>.

Poiché la natura sincronica del gioco dello *scappamento* è ciò che caratterizza il dispositivo che per la prima volta appare nelle città medievali del Duecento, consiglio al lettore di soffermarsi più volte sulla sequenza delle immagini, fermando talora il video se lo ritiene necessario, per osservare meglio cosa sta accadendo. Egli noterà che l'oscillazione periodica del *foliot* è sì determinata dalle spinte successive dei denti della corona sulle due palette della *verga*, ma a regolarne la sua ripartenza all'indietro, subito dopo che si è fermato, è la disposizione delle masse, poste alle sue estremità. In altri termini, la velocità angolare del nostro *foliot* dipende dal momento d'inerzia dei due morsetti serrafilo e può essere variata come si vuole, spostandoli lungo lo spiedino di legno.

Chi fosse interessato a cogliere la somiglianza degli effetti della variazione della distanza tra queste masse mobili e quelle presenti in un altro congegno interattivo, potrebbe guardare un ulteriore video: «Il foliot, le masse e l'effetto ballerina» ( <https://youtu.be/BH1ApPB2PoU> )<sup>14</sup>.

È interessante considerare che, da questa prova, risulta lineare la relazione sussistente tra la distanza tra i due morsetti serrafilo del *foliot* e l'intervallo temporale di una oscillazione: «dimezzando la distanza si dimezza il tempo, raddoppiandola si raddoppia il tempo» (vedi [3], pp.52-53 e

---

<sup>7</sup> «Come scrisse Alan Lloyd, “nessuno sa e probabilmente saprà mai” chi inventò tale meccanismo, ma “quale che fosse il suo nome, si trattava di un vero e proprio genio» (vedi [7], p. 115).

<sup>8</sup> Le due parti che si ottengono dividendo a metà un bastoncino di legno da ghiacciolo [3].

<sup>9</sup> «Una ruota munita con un numero dispari di denti». (vedi [11], p. 115)

<sup>10</sup> Il peso trainante è il classico contenitore giallo di ovetto Kinder, che nel nostro caso è stato caricato con zavorra di materiale vario.

<sup>11</sup> In realtà, gli urti a volte non sono del tutto anelastici: piccoli rimbalzi si manifestano ogni tanto.

<sup>12</sup> C'è infatti un altro tipo di *scappamento*, quello “ad àncora”, che sarà usato negli orologi a pendolo.

<sup>13</sup> «Dal 1250 al 1670 circa, questi semplici orologi meccanici erano fatti di un peso sospeso ad una corda o una catena avvolta intorno a un asse orizzontale. Per indicare il tempo, esso doveva cadere con una velocità lenta e uniforme, ma, sotto la sola azione della gravità, tale peso avrebbe accelerato. Per evitare questa accelerazione, era necessario un opportuno *meccanismo di scappamento*. Il migliore di questi tipi di meccanismi fu definito lo scappamento a *verga e foliot*, e ha avuto un tale successo da durare fino al 1800 circa. Orologi siffatti erano sufficientemente precisi nel segnare le ore, ma non i minuti o i secondi» (vedi [12], p. 374).

<sup>14</sup> A parer mio, è davvero molto attraente scoprire - nel video - come varia la vivacità d'oscillazione dei pesetti metallici, via via che li si sposta in avanti o indietro lungo la barretta del *foliot*. Ma è anche istruttivo paragonarla a quel fenomeno - mostrato nello stesso video subito appresso - in cui una persona seduta su una «sedia giroscopica» ruota più o meno rapidamente, a seconda che essa avvicini al petto con le mani, o le allontani, due identiche masse di ferro. In gergo scolastico, lo si indica spesso come “effetto ballerina”. Le ballerine, infatti, accostano le braccia al corpo per girare più veloci e le allontanano per fermarsi.

[4], p. 804). Gli artigiani medievali avevano capito subito e bene questo aspetto, tanto da sfruttarlo ben presto nei loro congegni. Che senso avrebbe, infatti, foggiare il profilo del *foliot* con incavi paralleli e contigui se non per consentire una regolazione manuale, progressiva come abbiamo visto, del tempo d'oscillazione? Naturalmente non si trattò di una taratura finissima ma, benché approssimativa<sup>15</sup>, fu pur sempre soddisfacente, se orologi siffatti furono adoperati lungo l'arco di alcuni secoli (vedi [11], vedi il grafico a p. 53).

Costruire dunque un modellino di orologio medievale equivale, in un certo senso, a creare una scenografia di un evento che combina in maniera incantevole antichissime conoscenze umane sulle macchine semplici con alcune più recenti sull'inerzia rotazionale, intuitive, come si è detto, ben prima della formulazione delle leggi della dinamica newtoniana. Una combinazione che dal punto di vista percettivo produce quell'emozione di concertazione meravigliosa ben descritta da Simoni.

### 3. Il tempo religioso e quello dei mercanti: brevissima storia dell'orologio medievale

Vari furono gli strumenti usati per misurare il tempo prima dell'invenzione dell'orologio meccanico: le meridiane, gli orologi ad acqua, le candele e le clessidre. Concepiti per fornire concreta evidenza allo scorrere invisibile e immateriale del tempo<sup>16</sup>, questi dispositivi si servivano del flusso uniforme di un liquido come l'acqua o di processi più o meno costanti come il movimento del sole e il consumo della cera in una candela che arde. Misurare intervalli di tempo equivaleva, in pratica, a determinare quanta parte di una di tali entità continue era fluita tra l'inizio e la fine di un'osservazione.

L'orologio medievale si basa invece sulla durata dell'oscillazione della coppia *verga-foliot*, ossia sulla "particella di tempo"<sup>17</sup> da questa tipicamente prodotta: un'entità discreta, dunque. Al crescere costante del numero di tali "particelle", la lancetta del congegno va avanzando sul quadrante con passi impercettibili (vedi [5], p.23) e uniformi. Sicché, per determinare il tempo trascorso, ora basta leggere l'"ora", cogliendo con un solo colpo d'occhio la posizione assunta dalla punta di detta lancetta (vedi [5], p. 25) sul quadrante e non ricorrere più - come accadeva in precedenza - a proporzioni con le quantità materiali fluite.

Prima dell'invenzione del pendolo, realizzare un movimento periodico come quello del *foliot* qui avanti descritto era un compito non banale (vedi [10], p.111), per cui la novità meccanica prodotta dagli artigiani medievali<sup>18</sup> risulta, in questo senso, un passo avanti decisivo nell'avanzamento della scienza<sup>19</sup>.

---

<sup>15</sup> «La ragione fisica della sua bassa precisione è che il sistema *verga e foliot* è altamente dissipativo. Ad ogni oscillazione, al *foliot* deve essere rifornita daccapo tutta l'energia che vien tolta ad esso, ogni volta, dal meccanismo di moto e dall'attrito. Ed è difficile far sì che questo fornire e rimuovere energia avvenga sempre allo stesso modo, ecco perché si accumulano considerevoli variazioni e deviazioni in periodi di oscillazione successivi» [13].

<sup>16</sup> «Un fluire costante del tempo è la prerogativa assoluta: *forma fluens*, come dicevano i filosofi scolastici» (vedi [6], p. 7).

<sup>17</sup> Sono state *Le Osservazioni Astronomiche* di Galileo del 1637 a suggerirmi l'idea di "particella di tempo"; in esse, infatti, lo scienziato pisano si esprime con le seguenti parole: «Esattissimo compartitore, in minutissime particelle, del tempo è un pendolo appeso a un sottil filo di qualsivoglia grandezza...». Benché non con la stessa esattezza del pendolo, nel caso dell'orologio medievale le oscillazioni della coppia *verga-foliot* suddividono anch'esse il tempo che scorre in enumerabili «minutissime particelle» (vedi [14], p. 373).

<sup>18</sup> È bene qui precisare che: «Sono due i misuratori del tempo inventati nel Medioevo, entrambi ad opera di autori anonimi: l'*horologium vitreum* e l'*horologium ferreum*. Il primo era la clessidra a sabbia a due ampole di vetro sovrapposte, ideata a scopi di navigazione per non risentire del moto ondoso. Per *horologium ferreum* si intendeva invece un meccanismo a ingranaggi azionato dalla discesa di un peso...» (vedi (6), p. 70).

<sup>19</sup> A tal riguardo, Mayr invita a non dimenticare però che nel nuovo congegno converge l'intera eredità tecnologica proveniente dagli strumenti di misura del passato, cioè dalle meridiane, dagli orologi ad acqua ed in particolare dalle ruote dentate e dai treni d'ingranaggi da esse composte, i quali «come dimostra il noto dispositivo di calcolo



L'orologio meccanico compare inizialmente nelle cattedrali europee del medioevo, tra la fine del XIII e l'inizio del XIV secolo. Può esser visto come un fatto legato inizialmente alla religiosità del tempo, perché i primi esempi si trovano negli svegliarini<sup>20</sup> dell'epoca che destavano i monaci per recitare insieme le preghiere secondo la liturgia scandita dalle "ore canoniche" (vedi [5], p. 20).

Il vescovo francese Gulielmus Durandus, che comprende la radicale novità dello strumento, lo definisce nel 1284 come «un orologio con cui leggere le ore, ossia contarle» (*horologium per quod hore legere id est colligere*) e suggerisce che il congegno venga collocato ben in vista, in alto, addirittura al di sopra del pulpito (vedi [6], p. 70).

L'invenzione ottiene un immediato successo. Le autorità comunali presto si convincono che la sua utilità non riguardi solo «gli ecclesiastici e i fedeli riuniti in chiesa» (vedi [6], p.72), ma tutti i cittadini impegnati nelle attività mercantili nascenti in quel periodo e cominciano, così, a promuovere l'istallazione di grossi esemplari all'aperto, sui campanili delle chiese e sulle torri civiche verso le quali è più frequente che la gente volga lo sguardo<sup>21</sup>.

Molto probabilmente, qualcuno di questi esemplari può aver offerto a Dante Alighieri (1265-1321) l'occasione di indugiare, ammirato, sui vari meccanismi che lo muovono, se egli riesce a cogliere nella grande ruota di uno di tali orologi la somiglianza alla «gloriosa» ruota dei beati che, nel *Paradiso, Canto XXIV* (vedi [17], p. 292-293), cantano le lodi a Dio e se è in grado di notare, proprio lì, nel cuore del congegno, che «...l'una parte e l'altra tira e urge»<sup>22</sup>, ossia che, mentre il peso trainante ne induce il movimento («l'una parte tira»), i denti della corona urtano («l'altra urge») contro le palette della verga<sup>23</sup>. Dante, dunque, traduce in termini poetici, e in un sol verso, nientemeno che il meccanismo interattivo dello *scappamento*<sup>24</sup>.

Quello installato a Milano nella Chiesa di Sant'Eustorgio nel 1309 risulta il primo orologio in ferro comparso in Italia. Orologi di questo tipo, subito dopo, vengono costruiti anche a Padova, a Genova, a Bologna e a Ferrara, tra il 1344 e il 1362 (vedi [11], p. 20-21).

---

astronomico di Antikythera, erano giunti ad un incredibile grado di raffinatezza già alla fine del primo secolo a.C.» (vedi [2], p.5).

<sup>20</sup> Si veda la storia di questi dispositivi nella recente pubblicazione del MUMEC, Museo dei Mezzi di Comunicazione del Comune di Arezzo, curata da Fausto Casi [15].

<sup>21</sup> «Più ancora per esigenze pratiche che per ragioni teologiche, che d'altronde ne sono alla base, il tempo concreto della Chiesa è, adattato dall'antichità, il tempo dei chierici, ritmato dagli uffici religiosi, dalle campane che li annunciano, eventualmente indicato dalle meridiane, imprecise e mutevoli, misurato talvolta dalle clessidre grossolane. A questo tempo della Chiesa, mercanti e artigiani sostituiscono il tempo più esattamente misurato, utilizzabile per le faccende profane e laiche, il tempo degli orologi. La grande rivoluzione del movimento comunale nell'ordine del tempo è rappresentata proprio da questi orologi rizzati dappertutto di fronte ai campanili delle chiese» (vedi [16], p. 21).

<sup>22</sup> «Come orologio che ne chiami ne l'ora che la sposa di Dio surge a mattinar lo sposo perché l'ami, che l'una parte e l'altra tira e urge, tin tin sonando con sì dolce nota, che 'l ben disposto spirto d'amor turge; così vid'io la gloriosa rota muoversi e render voce...» (*Paradiso, Canto X*) (vedi [17], p. 138).

<sup>23</sup> Questa appena esposta è la tesi di Simoni (vedi [6], p.23): «Dante si dimostra colpito... dallo straordinario effetto del vedere la prima ruota apparentemente immobile mentre l'ultima si muove agilissima. Le similitudini dantesche hanno valore cronologico e grandissimo... È fuori questione che si riferiscono specificamente agli orologi a ruote (quelli da edificio [5, p. 25]) e, se agli albori del Trecento si poté fare di essi oggetto di similitudini, vuol dire che si trattava già allora di cosa universalmente nota». Rispetto a questa opinione piuttosto decisa di uno storico dell'orologeria come Simoni c'è da considerare, tuttavia, la posizione moderna più prudente di Casi il quale, ragionando su come e dove Dante Alighieri possa aver appreso della presenza e dell'uso degli orologi meccanici, ritiene che sia poco verosimile che i fatti siano andati proprio così, considerata la rarità degli esemplari di orologi monumentali di cui si ha notizia in Italia a quel tempo. Più a portata di mano del poeta, secondo Casi, potrebbero essere stati invece gli svegliatori monastici diffusi nei conventi (vedi [15], p. 54).

<sup>24</sup> Con altre parole: «... il peso tira la corona mentre i denti della corona spingono le palette, e poi le palette a loro volta spingono i denti frenando la caduta del peso e tirandolo verso l'alto» [3].

Notevole è la coincidenza dell'avvento dell'orologio medievale con lo sviluppo della metallurgia, sottolinea Cipolla (vedi [11], p.20):

«...tra la fine del Duecento e i primi del Trecento comparvero anche le prime artiglierie e non a caso l'orologio meccanico e il cannone comparvero quasi contemporaneamente. Entrambi furono il frutto di un notevole sviluppo della capacità di lavorare i metalli e molti dei primi orologiai furono anche fabbricanti di bombarde».

Dal 1300 circa al 1500, prevalse dappertutto la produzione di grossi congegni, da esporre al pubblico, in alto, sulle torri; rari furono quelli di piccole dimensioni per uso domestico. A costruirli, secondo Mayr, furono artigiani girovaghi, provenienti dalla pratica di mestieri più antichi: fabbri ferrai e fabbricanti di serrature, forse perché già dotati di competenze per la realizzazione di ingranaggi. Tuttavia, ad ingegnarsi nella nuova arte, spesso per diletto, non mancarono eruditi, ad esempio astronomi, medici e addirittura teologi (vedi [2], p.6).

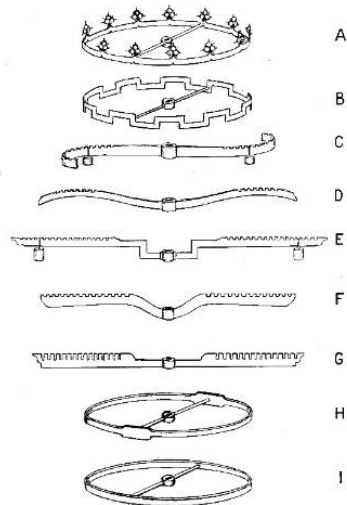


Figura 5. Qui viene riportata parte della Tavola XI del libro di Antonio Simoni, *Orologi dal '500 all'800* [5, p.56] che l'autore presenta come «Vari tipi di bilanciare [foliot] dell'orologeria pendolare, nell'ordine in cui si sono presumibilmente succeduti nel tempo». Si noti come il foliot sia cambiato d'aspetto nel corso dei secoli, prima di essere sostituito dal pendolo, passando dalla forma "a corona" (A) e "a greca" (B), a quelle a barra coi pesetti regolatori del tempo (C,D,E,F,G) per finire con quelle ad anello (H e I). [ L'editore rimane a disposizione degli aventi diritto per eventuali involontarie omissioni o inesattezze nella citazione della fonte, alla quale non è stato possibile risalire].

Benché siano d'accordo nel ritenerlo prezioso, gli studiosi, in genere, considerano il *foliot* una sorta di espediente tecnico che non costituisce, di per sé, un passo risolutivo nel progresso della scienza, forse perché mancano precisi elementi sul suo conto, validi sotto l'aspetto storico-critico. Simoni, ad esempio, raccoglie la presumibile successione delle forme assunte dal dispositivo nel corso dei secoli, ma non si chiede quali fossero state le sottostanti ragioni fisiche che ne abbiano dettato l'adozione (Fig.5).

A parer mio, come ho già accennato, il ricorso a questo congegno, prima mai usato, rivela invece l'intuizione di una singolare proprietà della materia, ciò che oggi chiamiamo *inerzia rotazionale*, e la sua dipendenza, sì, dalle masse rotanti, ma anche dalla loro distanza rispetto all'asse di rotazione, per un impiego ben preciso.

Cosa che non è di poco valore, anzi è "geniale" se è vero che a coglierla e metterla in pratica risultarono comuni artigiani. Considerate le sue caratteristiche dinamiche, questo dispositivo mette dunque in luce davvero un avanzamento rispetto alla fisica ancora aristotelica di quel tempo, anche se la meccanica di Newton e quella di Eulero sono ancora di là da venire [18].

L'uomo medievale, pur non avendo un vero e proprio pensiero scientifico, desiderava però incrementare la sua conoscenza del mondo e l'orologio meccanico, offrendogli pretesti di cimento

con crescenti novità tecnologiche, lo ha spinto a sfruttarle allo scopo di comprenderne meglio la natura<sup>25</sup>.

## Bibliografia

- [1] Cerreta P., "Il potere di seduzione che emana dalla prova pratica", *Giornale di Fisica*, Vol. LXII, N.2, Aprile Giugno 2021, pp.241-243.
- [2] Mayr O., *Authority, Liberty & Automatic Machinery in Early Modern Europe*, Johns Hopkins Studies in the History of Technology (Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press) 1986.
- [3] Danese B., "L'orologio medievale" *Nuova Secondaria* 2009,10 (giugno), XXVI, pp. 49-56.
- [4] Danese B., Oss S., "A medieval clock made out of simple materials", *European Journal of Physics* 2008, 29(4), pp. 799-814.
- [5] Mascheretti P., "La misura del tempo: prospettiva storica" in Giuliani G. (a cura di) *Le grandezze fisiche e la loro misura* (La Goliardica Pavese) 1998, pp.33-109 [http://fisica.unipv.it/percorsi/pdf/Tempo\\_misura.pdf](http://fisica.unipv.it/percorsi/pdf/Tempo_misura.pdf)
- [6] Redondi P., *Storie del Tempo* (Editori Laterza) 2007
- [7] Simoni A., *Orologi italiani dal '500 all'800* (Vallardi, Milano) 1965.
- [8] Berti, E., In principio era la meraviglia. Le grandi questioni della filosofia antica, (Editori Laterza) 2007, p. V.
- [9] Dubois P., *Histoire de l'Horlogerie Depuis Son Origine Jusqu'à Nos Jours: Précédée de Recherches Sur La Mesure Du Temps Dans l'Anti*, 1849 <http://www.clairebreizh56.com/horlogerie/histoirede-lhorlogerie1849.pdf> .
- [10] Blumenthal A. S., Nosonovsky M. (), "Friction and Dynamics of Verge and Foliot: How the Invention of the Pendulum Made Clocks Much More Accurate", *Applied Mechanics* 2020, 1(2):111-122.
- [11] Cipolla C. M., *Le macchine del tempo*, (Il Mulino, Bologna) 1981.
- [12] Denny M., "Verge and Foliot Clock Escapement: A Simple Dynamical System", *The Physics Teacher*, 2010, **48**, pp. 374-376.
- [13] Hoyng P., Nieuwenhuizen A.C.T., "Dynamics of the verge and foliot clock escapement", *SRON Netherlands Institute for Space Research, Sorbonnelaan 2, 3584 CA Utrecht, The Netherlands*, 2018 <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1604/1604.06681.pdf>, p.1 .
- [14] Galileo G., "Osservazioni Astronomiche" in Eugenio Albèri, *Le Opere di Galileo Galilei, Prima edizione completa condotta sugli autentici manoscritti palatini, Frammenti di lavori galileiani intorno materie astronomiche*, Firenze, Società editrice Fiorentina, 1845 p. 373 <https://books.google.it/books?id=sBhOsh4NnbkC&pg=PA371&lpg=PA371&dq=Galileo+Galilei#v=onepage&q=Galileo%20Galilei&f=false> .
- [15] Casi F., *Gli orologi meccanici al tempo di Dante ed il loro sviluppo*, MUMEC, Museo dei mezzi di comunicazione del Comune di Arezzo (3emmegrafica snc) 2021.
- [16] Le Goff J., *Tempo della Chiesa e tempo del mercante. Saggi sul lavoro e la cultura nel Medioevo* (Biblioteca Einaudi) 2000, p. 21.
- [17] Alighieri D. "Paradiso", *La Divina Commedia* vol. III a cura di Sapengo N, Canto X, ( La Nuova Italia) 1964.
- [18] Sparavigna A.C., "A Historical Discussion of Angular Momentum and its Euler Equation", 2015, *International Journal of Sciences*, vol 4, 07, pp.34-38 DOI: 10.

---

<sup>25</sup> «La misura degli intervalli di tempo: dal pressappoco verso la precisione» è stato il titolo dell'argomento da me presentato nella recente Scuola di Formazione per Insegnanti organizzata dal Gruppo Nazionale di Storia della Fisica dell'AIF "Dall'uomo misura di tutte le cose alle unità di misura basate sulle costanti fondamentali", corso online ( 1-5 marzo 2021) <https://scienzaviva.it/index.php/la-misura-degli-intervalli-di-tempo-dal-pressappoco-verso-la-precisione/>