

L'orologio meccanico

Daniele Marini
Dipartimento di Informatica e
Comunicazione

Perché?

- Il rapporto tra l'artigiano e lo scienziato
- Scoperte scientifiche e ingegneria evolutiva
- Un prodotto commerciale
- Una filiera produttiva
- Un sistema dinamico
- Un calcolatore analogico

Il rapporto tra l'artigiano e lo scienziato

- E' un manufatto molto sofisticato, richiede: abilità manuale, creatività, comprensione di fisica, meccanica, metallurgia
- L'orologiaio del '500 e del '600 è un fabbro, dal '700 è un grande tecnico e un artista
- A partire dal '700 l'orologiaio produce strumenti di misura per gli scienziati dell'epoca

Scoperte scientifiche e ingegneria evolutiva

- L'evoluzione dell'orologio procede di pari passo con lo sviluppo della scienza moderna; i padri sono Galileo, Huygens, Hook, Newton e molti altri
- La misurazione accurata del tempo è essenziale per l'astronomia
- E' il campo in cui si sperimentano principi di meccanica e metallurgia
- Il progresso tecnologico è frutto di continue innovazioni spesso minime, che si accumulano in un corpo di conoscenze vasto

Un prodotto commerciale

- Dal '600 è oggetto simbolo di nobili e ricchi borghesi
- I miglioramenti produttivi ne fanno un prodotto di massa
- La qualità decorativa ne fanno un prodotto di lusso

Una filiera produttiva ¹

- La produzione di orologi richiede pazienza, diventano orologiai contadini e artigiani di regioni in cui l'inverno è lungo
- In Europa si creano centri produttivi e specializzazioni
 - ◆ Foresta Nera in Germania
 - ◆ Jura francese e Svizzero (nord di Neuchatel)

Una filiera produttiva ²

- Nasce in Italia
- Si sviluppa in Germania
- Migra in Inghilterra e in Francia
- Giunge in Svizzera e si consolida con centri specializzati
 - ♦ Ebauche
 - ♦ Casse
 - ♦ Componenti (molle, spirali, bilanceri)
- ... il crollo dell'industria svizzera e la rinascita col gruppo Swatch

La misurazione del tempo

- Il tempo dell'agricoltore
 - L'arco della giornata, il ciclo della luna, l'inizio delle stagioni
- Il tempo della preghiera
 - Il calendario liturgico
- Il tempo dello scienziato
 - Misurare con precisione
- Il tempo del commerciante
 - Il tempo nei vari paesi, il tempo del viaggio

Le tappe principali

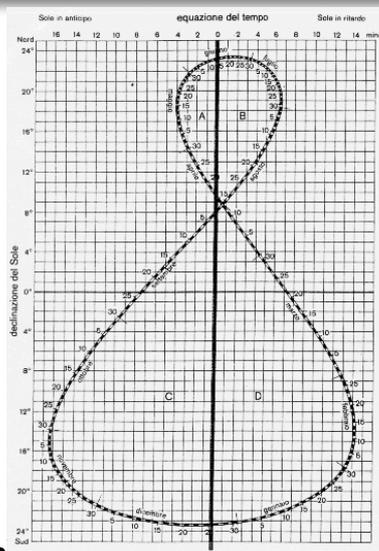
- < 1550 – contare le ore
- 1600 –1675 – l'età della decorazione
- 1675 –1700 – pendolo e bilancere
- 1700 –1775 – ricerca della precisione
- 1775 –1830 – i primi cronometri
- 1830 –1900 – l'età della complicazione
- 1900 – 1970 – l'industrializzazione
- 1970 – 1990 – l'era dell'elettronica
- > 1990 – *ritorno al futuro*

Tempo solare

- Tempo solare: l'intervallo tra due passaggi del sole al meridiano; definisce la giornata
- L'inclinazione dell'asse terrestre provoca variazioni della durata del giorno solare e del momento del passaggio al meridiano:
 - ♦ 11 febbraio: 14' 28" di ritardo
 - ♦ 2 novembre: 16' 18" di anticipo
 - ♦ Passaggio esatto nei giorni: 15 aprile, 14 giugno, 1 settembre, 25 dicembre
- Queste differenze sono raccolte nell'*equazione del tempo*
- Normalmente quel che misuriamo è il *tempo solare medio*

Equazione del tempo

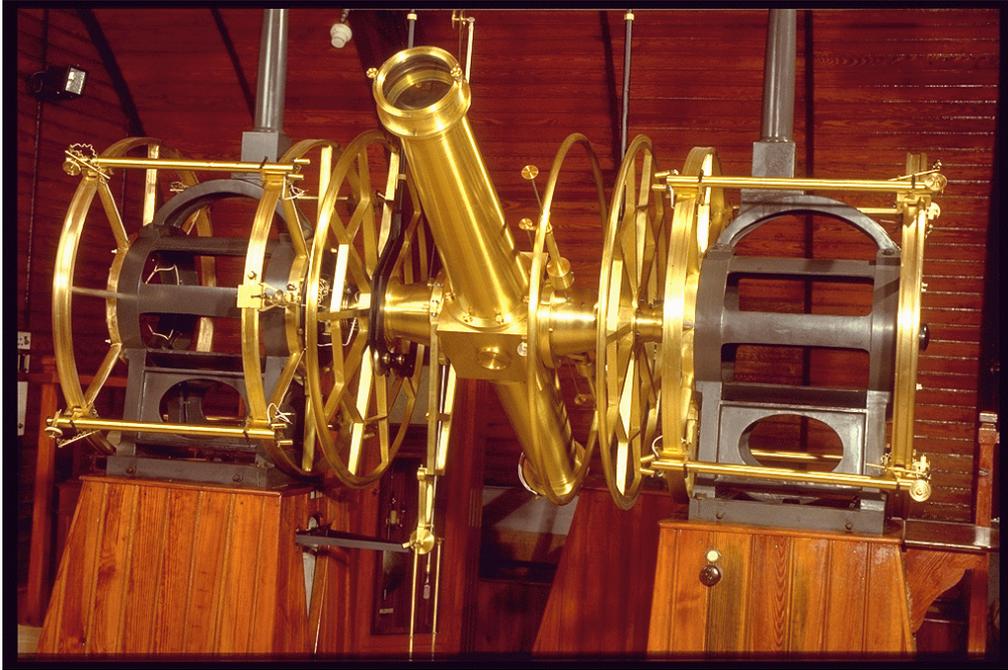
- Analemma è il diagramma che raffigura l'equazione del tempo
 - ♦ Le meridiane indicano l'ora solare, se viene tracciato l'analemma, si legge anche l'ora media locale



Tempo siderale

- Tempo siderale: la durata della rotazione terrestre è: 23h 56' 4.1"
- Una stella qualsiasi passa al meridiano ogni giorno 3' 56" in anticipo
- Anno siderale: 365 g 6h 9' 11" di tempo solare medio
- Anno solare (o equinoziale) 365g 5h 48' 48"

Misurare il passaggio al meridiano



Sincronizzare il tempo

- Nel 45 a C. venne rilevato un eccesso di 6 ore, e si ideò l'anno bisestile (ogni quattro anni si aggiunge un giorno)
- Questo genera un errore di 7 giorni in 900 anni
 - ♦ 1582: Papa Gregorio XII ordina di scartare 10 giorni (errore accumulato) e di saltare 3 anni bisestili nei successivi 400 anni (ai cambi di secolo 1600 bisestile, 1700, 1800, 1900 non bisestili, 2000 bisestile ...)

Sistema di conteggio

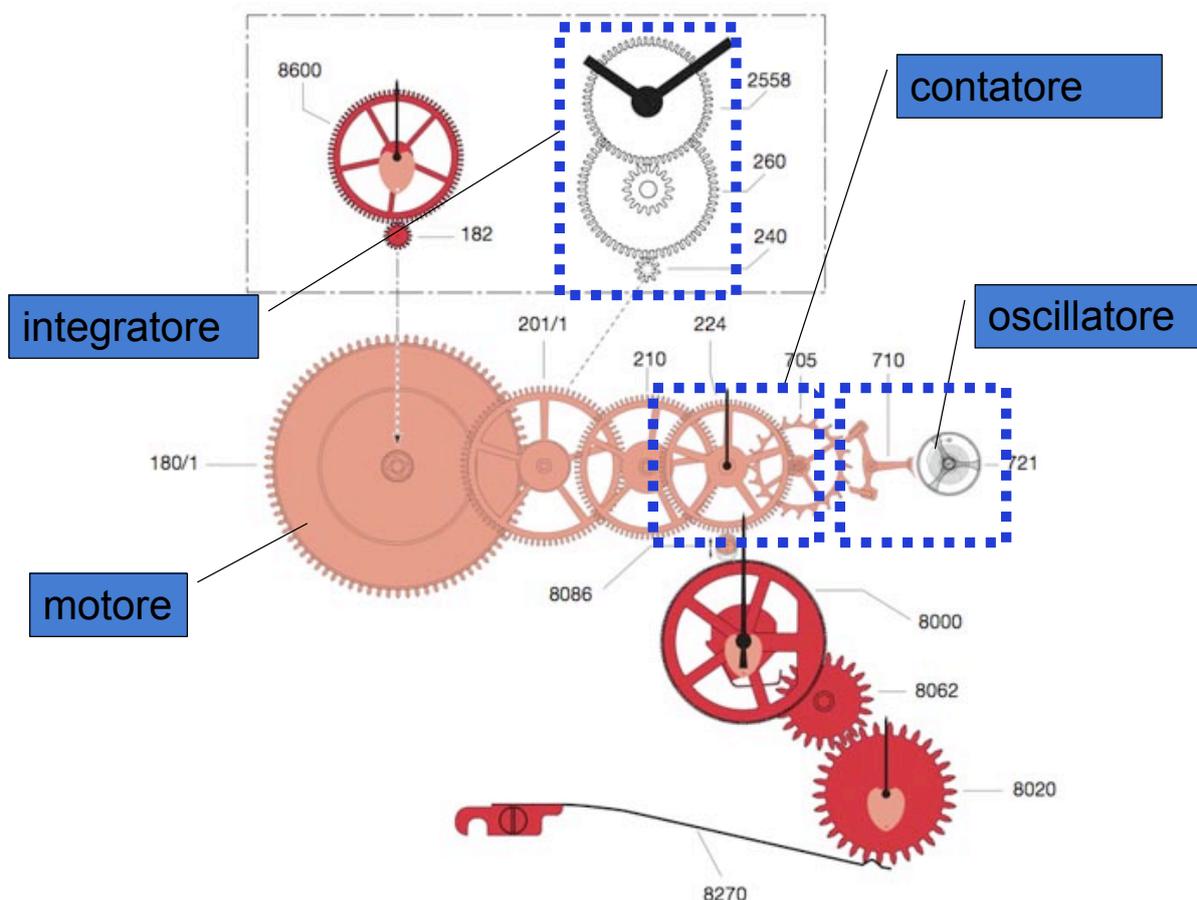
- Il sistema di conteggio delle ore che usiamo deriva dagli schemi dei Sumeri, che avevano due modi:
 - Il giorno inizia a mezzanotte ed è diviso in 6 parti, a loro volta suddivise in 60 parti
 - Il giorno inizia all'alba ed è suddiviso in 12 parti, ciascuna suddivisa in 30 parti
- In Italia nel medioevo il giorno aveva inizio al tramonto ed era diviso in 24 ore
- In altri paesi si usavano schemi simili con varie differenze

Digressione

- Per potere comprendere evoluzione e tecnologia presentiamo un schema funzionale di orologio meccanico

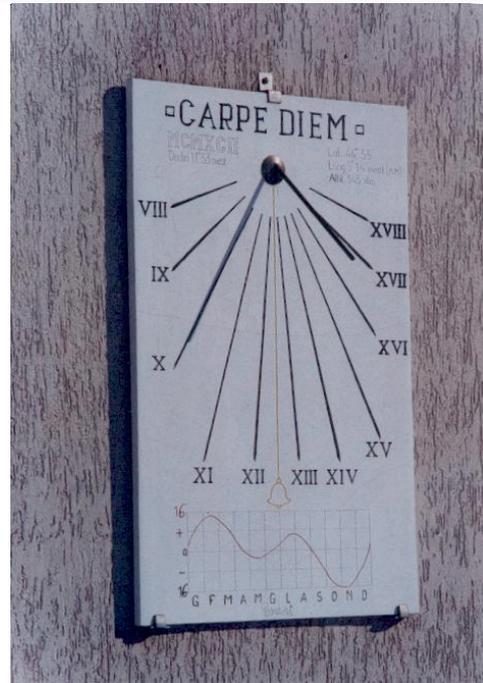
La struttura funzionale

- Motore
 - ◆ Pesi, molla, trasmissione della forza
- Elemento oscillante
 - ◆ Pendolo, bilancere
- Contatore di oscillazioni
 - ◆ Ingranaggi, lancetta secondi
- Integratore (contatore di ore e minuti)
 - ◆ Ingranaggi, lancette minuti e ore
- Display
 - ◆ Quadrante

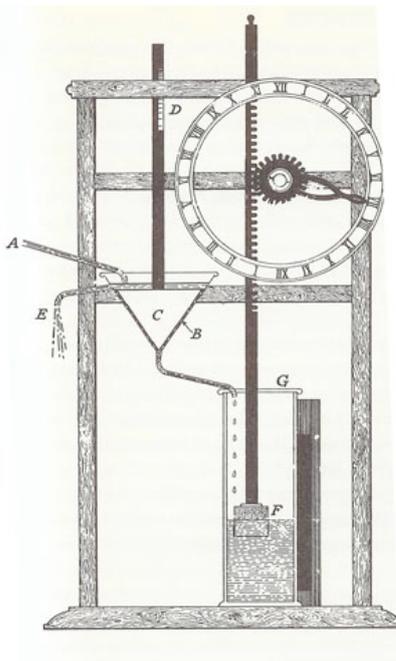


Meridiane

- Prima dell'orologio meccanico si usavano *meridiane* (quando non c'è il sole non segna nulla)
- Adatto alle esigenze dell'agricoltura, per le lunazioni si creavano tabelle e almanacchi



Orologi ad acqua



Primi orologi meccanici

- Nel medioevo il conteggio delle ore aveva lo scopo di scandire i momenti della preghiera
- La cultura scientifica era patrimonio degli ecclesiastici
- I primi orologi compaiono nei conventi, se ne ha certezza a partire dalla metà del 1300.

Il tempo della preghiera ¹

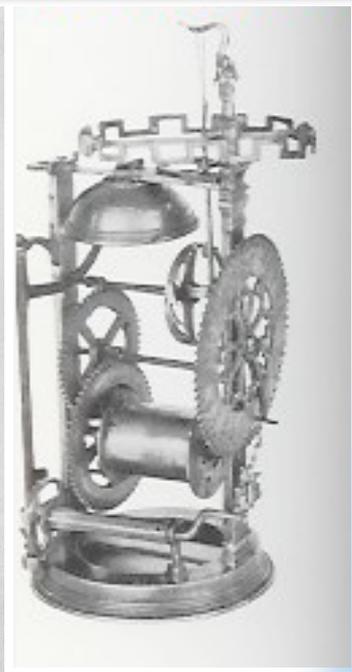
- La regola degli ordini monastici impone orari precisi per le preghiere del giorno:
 - ♦ *Sacrista debet temperare horologium, et ipsum facere sonare ante matutinas pro se excitando quotidie* Liber Unum Cistercenisum, ca. 1110
- Questi strumenti sollevavano meraviglia, parevano muoversi da soli, tant'è che venivano riprodotti in quadri e intarsi

Il tempo della preghiera ²

- La Regola Benedettina stabilisce 8 momenti, diffusa in tutta Europa, ha un codice di segnali:
 - ◆ **3 tocchi:** *Vespro o dodicesima ora*, al tramonto
 - ◆ **4 tocchi:** *Compieta*, al far delle tenebre
 - ◆ *Notturmo o Ottava ora*, trascorsi gli 8/12 della notte
 - ◆ *Laudi di Mattutino*, al primo albore
 - ◆ **3 tocchi:** *Prima ora*, al levar del sole
 - ◆ **2 tocchi:** *Terza ora*, a metà mattino
 - ◆ **1 tocco:** *Sesta ora*, a mezzodì
 - ◆ **2 tocchi:** *Nona ora*, a metà pomeriggio

Svegliatore monastico

- Inizio '400 fine '300
- Esemplare **unico**, alt. 25 cm.
- Diffuso a partire dal '200
- Ne parla Dante nel X canto del Paradiso



Dante, Par. X, 139–148

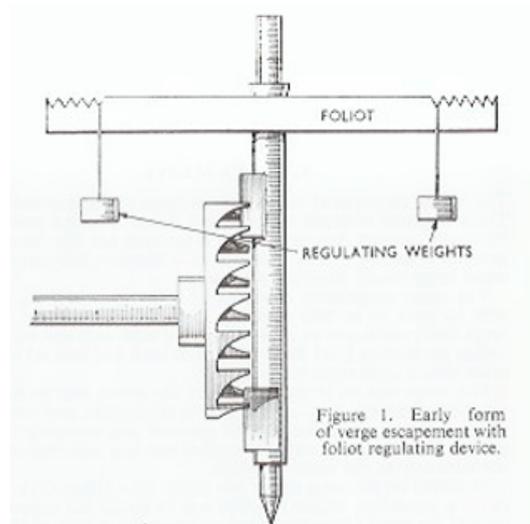
Indi, come orologio che ne chiami
nell'ora che la sposa di Dio surge
a mattinar lo sposo perché l'ami,
che l'una parte l'altra tira e urge,
tin tin sonando con sì dolce nota,
che 'l ben disposto spirto d'amor urge;
così vid'io la gloriosa rota
muoversi e render voce a voce in temprà
ed in dolcezza ch'esser non po' nota
se non colà dove gioir s'insempra

Come funziona?

- Il motore
 - ♦ Un peso legato a una corda che si avvolge su un cilindro, produce una *coppia* di rotazione
 - ♦ La rotazione del cilindro si trasmette con ingranaggi ad altre ruote
 - ♦ L'ultima ruota viene fermata alternativamente da un'asta con due palette collegata a una massa oscillante

Come funziona?

- A ogni mezza oscillazione la coppia di rotazione della ruota spinge una delle due palette che rimette in rotazione la massa oscillante, e la seconda paletta ferma nuovamente la ruota
- E' nato lo **scappamento a verga**



Come si regola?

- Benchè semplice questo orologio prevede anche un meccanismo di regolazione: spostando i pesi del *foliot* si modifica il momento di inerzia accrescendo o diminuendo la durata dell'intervallo tra due rotazioni

Deve compiere un giro completo in 24 ore

- Questo requisito impone di risolvere il calcolo degli ingranaggi.
 - ◆ Ogni semi-oscillazione (alternanza) provoca uno scatto della ruota di scappamento
 - ◆ Contando il numero di alternanze/h e dividendolo per il doppio dei denti della ruota di scappamento troviamo il numero di giri orario dello scappamento
 - ◆ Per far compiere un solo giro alla ruota delle ore in 24 ore, occorre “demoltiplicare” con un *treno di ingranaggi* la rotazione controllata dallo scappamento

Perché gli ingranaggi?

- Due cilindri A e B a contatto ruotano in senso opposto per frizione, ma in assenza di rugosità scivolano; la presenza dei denti permette loro di ruotare senza scivolare lungo i due cerchi primitivi

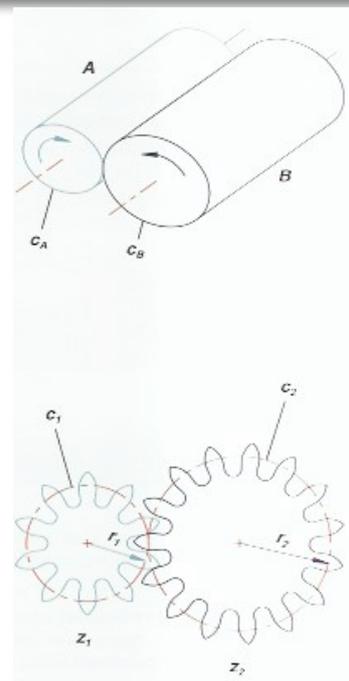
$$2\pi r_1 = z_1 p = c_1$$

$$2\pi r_2 = z_2 p = c_2$$

p passo lineare (distanza tra due denti)

z numero denti

c lungh. circonferenza primitiva



Calcolo degli ingranaggi

- Il rapporto tra i raggi primitivi è proporzionale al rapporto tra il numero di denti

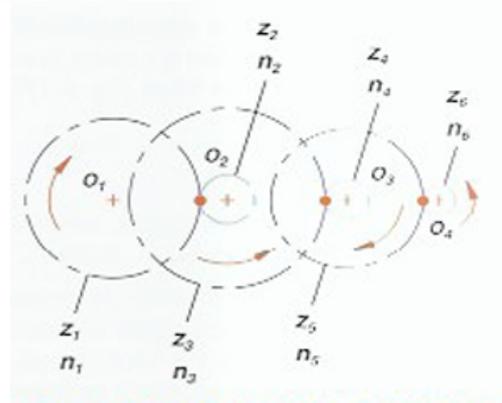
$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

- Il rapporto tra il numero dei giri è inversamente proporzionale al rapporto del numero di denti:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{z_1}{z_2}$$

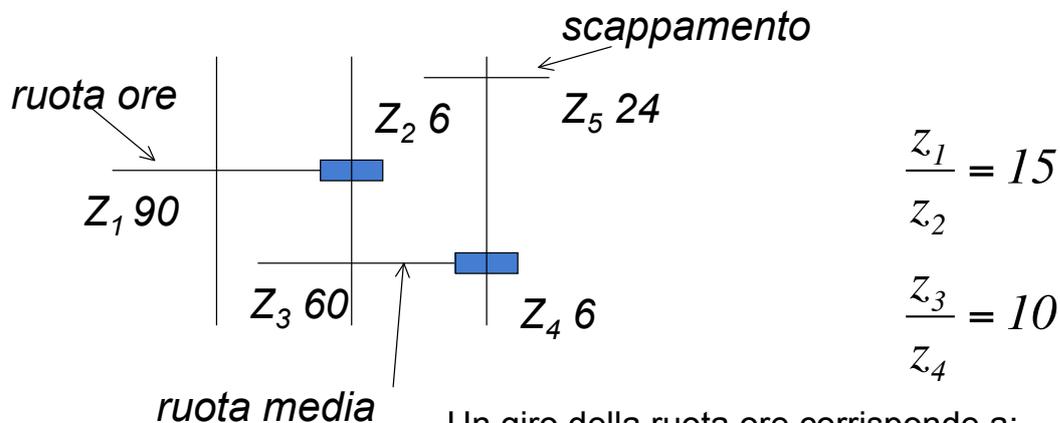
Treno di ingranaggi

- In un treno di ingranaggi i rapporti di rotazione si moltiplicano
- Il rapporto tra i giri della prima ruota e quelli dell'ultima è:



$$\frac{n_6}{n_1} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdot \frac{z_5}{z_6}$$

Il treno dello svegliatore



Un giro della ruota ore corrisponde a:

- 15 giri della ruota media
- 150 giri della ruota scappamento
- 1800 doppi scatti delle palette
- 3600 alternanze della massa

Calcolo delle oscillazioni

- Se questi sono i numeri giusti dei denti degli ingranaggi e pignoni allora lo svegliatore deve “battere il secondo”
- La massa oscillante è piuttosto precaria, per variarne la velocità di rotazione (e quindi il periodo) si agisce sui pesi, modificandone il *momento di inerzia* (*Sacrista debet temperare horologium ...*)