

Corso di Epistemologia e Storia della Fisica

dr. Paolo Lenisa

(L'evoluzione della comprensione del movimento.)

(trasparenze liberamente adattate dal Corso prof. P. Dalpiaz)

Informazioni

Docente: dr. Paolo Lenisa

Sito web: http://www.fe.infn.it/~lenisa/storia_fisica.htm

Sito divulgazione scientifica: <http://scienzapertutti.Inf.infn.it/>

Per contatti:

Ufficio: stanza 208 Dipartimento di Fisica

E-mail: lenisa@fe.infn.it

Tel: 0532-974309

Ricevimento studenti: lunedì ore 15:00-17:00

Testi suggeriti:

Trasparenze distribuite a lezione.

Carl F. von Weizsäcker, M. Donzelli: *"I grandi della Fisica. Da Platone a Heisenberg"*.

George Johnson e F. Ligabue: *"I dieci esperimenti più belli"*.

Paolo Rossi: *"La nascita della scienza moderna in Europa"*.

Lee Smolin: *"L'Universo senza Stringhe. Fortuna di una Teoria e turbamenti di una scienza"*.

Modalità d'esame:

Colloquio con docente

Introduzione alla fisica.



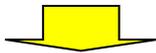
La FISICA

Intorno a noi c'è il mondo. Vasto complicato rumoroso e colorato, pieno di cose e di eventi diversi, che si susseguono senza ordine apparente. Le cose nascono, muoiono e si trasformano una nell'altra. Sole e stelle si muovono nel cielo in modo disuguale. I sassi cadono ed il fumo sale, il mare è agitato da onde sempre diverse ed è abbassato e sollevato da maree disuguali. Una moneta cade sul fondo di un lago, ma una grande nave dello stesso metallo galleggia. Le corde di una chitarra suonano in armonia; i fulmini cadono dal cielo seguiti dal tuono, la luce del sole fa brillare le cose di colori, si riflette iridescente sulla superficie del mare e crea arcobaleni fra le nubi.

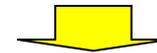
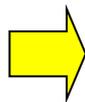
Come pensare questa vastità? Con quali pensieri? È possibile comprendere con la nostra mente questo mondo grandioso e disordinato, che ci sorprende e stupisce. Si nasconde qualcosa dietro questa grande varietà? C'è un ordine che possiamo capire? Da dove cominciare per capire il vasto e variegato mondo della natura?

Queste domande sono molto antiche. La ricerca di risposte convincenti, razionali, non arbitrarie o fantasiose ha dato origine alla Scienza ed innanzitutto alla Fisica, la parte della scienza che cerca di costruire i pensieri basilari per comprendere la natura, di trovare le leggi elementari per costruire i concetti di base: spazio, tempo.....

Due fatti sorprendenti hanno caratterizzato questa grande avventura di ricerca:



Il sogno di capire razionalmente il mondo, in termini di poche idee e leggi semplici, si è realizzato: questo è la **Scienza moderna**

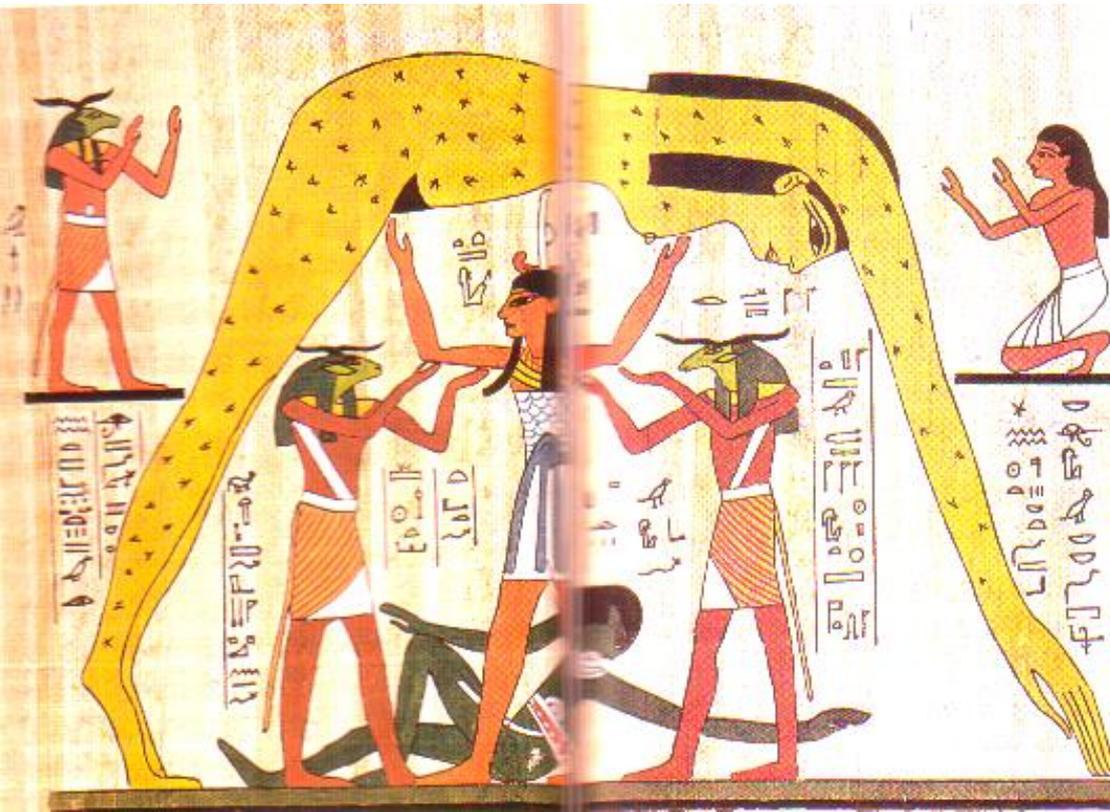


La Scienza ha cambiato profondamente la vita dell'umanità, ha permesso lo sviluppo della nostra civiltà, che sta diventando la civiltà dell'intero pianeta.

Questa grande avventura di ricerca, che ci ha dato la chiave per comprendere il mondo, ci ha obbligati ha liberarci da idee sbagliate che abbiamo in testa.

Ogni passo avanti nella comprensione del mondo ha quindi qualche cosa di sovversivo, qualcosa di profondamente rivoluzionario.

Ogni volta ridisegniamo da capo il mondo. Cambiamo l'ordine dei nostri pensieri, il quadro della nostra immagine della realtà. Anche se riusciamo a capirne bene molti aspetti la natura continua ad apparire inesauribile. Più comprendiamo del mondo, più scopriamo che c'è molto altro da comprendere: la nostra comprensione del mondo diventa via più efficace, ma continua a cambiare. Troviamo modi efficaci di pensare il mondo, ma ce ne sono sempre di più efficaci. Se vogliamo capire dobbiamo dunque essere aperti ai nuovi sovversivi, ai nuovi rivoluzionari. La strada della ricerca della conoscenza è lontana dalla conclusione.



Un papiro egizio raffigurante la dea del cielo Nut, dal corpo coperto di stelle, mentre viene generata da Geb, dio della terra. I miti sulla creazione del mondo elaborati dalle antiche civiltà sono sempre una risposta, seppur inadeguata ai nostri occhi, al bisogno umano di trovare una causa prima all'origine, all'evoluzione ed alla comprensione del mondo

STORIA DELL'UOMO

Preistoria (o età della Pietra, 2 500 000 anni fa – 3 500 a.C. circa:

- **Paleolitico** (2,5 M. anni fa.- 20 000 a.C. circa): inizia con la nascita della tecnologia e termina con la comparsa delle prime forme di agricoltura.
- **Mesolitico** (20 000-10 000 a.C. circa): Avviamento agricoltura e vita sedentaria.
- **Neolitico** (10 000 a.C. - 3 500 a.C. circa): Termina con invenzione scrittura.

Storia (3 500 a.C. circa – Tempo presente):

- **Età antica**: (3 500 a.C. e il 476 d.C.),
 - Età del Bronzo (3 500-1 200 a.C. circa)
 - Età del Ferro (1 200-600 a.C. circa)
- **Età medievale** (476 d.C. - 1492 d.C.)
- **Età moderna** (1492 d.C. - 1789 d.C.)
- **Età contemporanea** (1789 d.C. - Tempo presente)

CRONOLOGIA DELLA TECNICA E DELLA SCIENZA

5.000.000aC I primi esseri, lontani antenati dell'uomo, compaiono in Africa.

2.500.000aC Vengono inventati i primi strumenti in pietra.

500.000aC Comincia ad essere utilizzato il fuoco dall'Homo Erectus.

400.000aC Viene inventata la lancia

30.000aC I primi esseri umani moderni penetrano in Europa

28.000aC In Europa compaiono i primi flauti.

24.000aC Viene inventato l'ago da cucito in osso.

20.000aC Vengono inventate l'arco le frecce e la lucerna ad olio.

12.000aC In Mesopotamia vengono addomesticati i primi cani.

8.000aC Nella Mesopotamia settentrionale viene inventata l'agricoltura, contemporaneamente in Perù si coltiva la patata ed in Asia sudorientale il riso e vengono costruiti i primi villaggi.

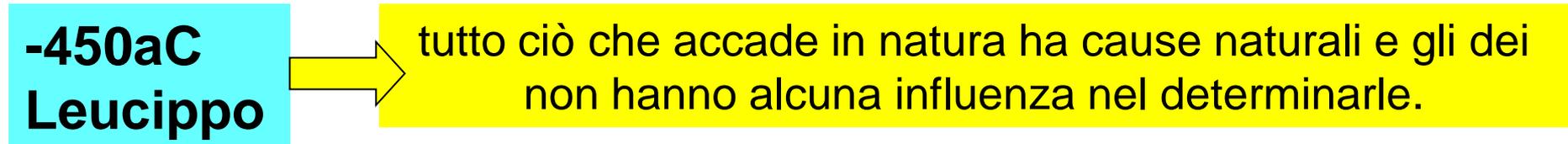
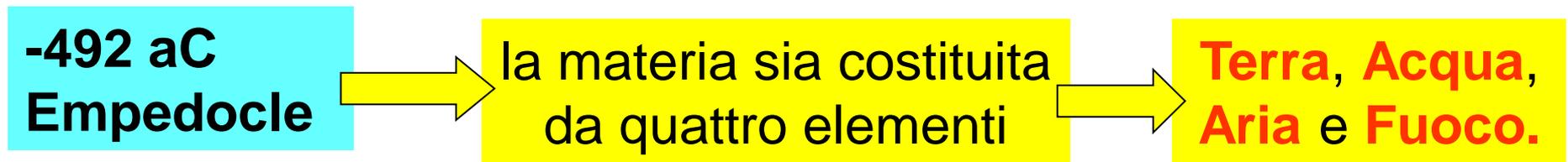
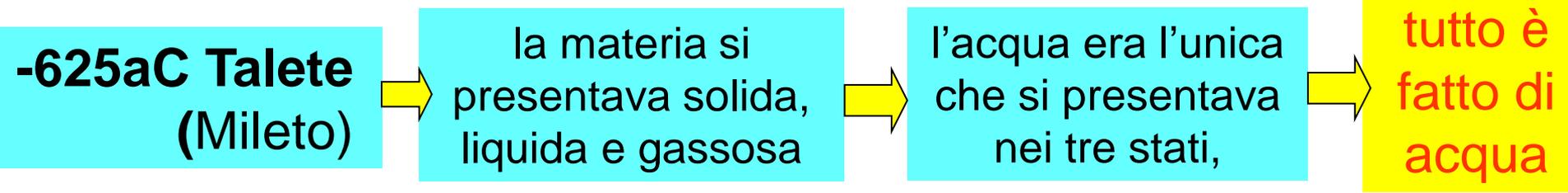
- **7.000aC** In Turchia si realizzano i primi **tessuti**.
- **6.400aC** In Turchia si iniziano ad **addomesticare** i primi capi di **bestiame**.
- **5.000aC** Nel commercio si incomincia ad usare pezzi di **oro** come strumento di scambio (denaro) e si usa il **rame** per fare utensili ed armi.
- **3.500aC** In Mesopotamia i Sumeri inventano la **scrittura** (cuneiforme).
- **3.300aC** In Mesopotamia viene inventata la **ruota**.
- **3.000aC** In Egitto viene inventata la **candela di sego**.
- **2.500aC** In Egitto vengono realizzate le prime **perline di vetro**.
- **1.500aC** In Egitto viene inventata la **meridiana**, primo strumento attendibile per la misura del tempo.
- **1.000aC** In Cina cominciano ad utilizzare il **carbone fossile** come combustibile ed i blocchi di ghiaccio per conservare gli alimenti.
- **650aC** I lidi (popolo del vicino oriente) inventano il **denaro moderno**.

Nascita della fisica: l'antica Grecia

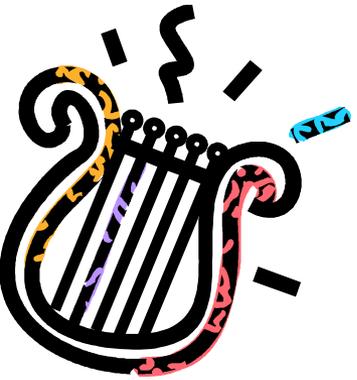
Grecia

Magna Grecia





~530aC Pitagora e i pitagorici : una corda di lunghezza



scoprirono le relazioni tra i numeri e le lunghezze delle corde della Lira:



do
si
la
sol
fa
mi
re
do

A musical staff with a treble clef, showing a single black dot on the bottom line, representing the note 'do'.

$\frac{1}{2}$

da consonanza (è in armonia) con l'ottava superiore



do
si
la
sol
fa
mi
re
do

A musical staff with a treble clef, showing a single black dot on the second line, representing the note 'do'.

$\frac{2}{3}$

da consonanza (è in armonia) con una quinta



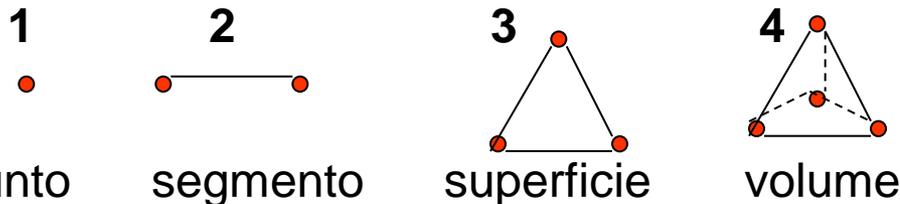
do
si
la
sol
fa
mi
re
do

A musical staff with a treble clef, showing a single black dot on the third line, representing the note 'do'.

$\frac{3}{4}$

da consonanza (è in armonia) con una quarta

I rapporti $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ implicavano i numeri 1, 2, 3 e 4 che sommati fanno 10 (tetrakys) che era considerato il numero perfetto dai pitagorici.



I numeri 1, 2 3 e 4 permettevano di costruire le principali figure geometriche, **definendo lo spazio**

Le scoperte di sequenze numeriche applicate a cose reali come l'armonia indusse nei pitagorici l'idea:

Che il pensiero umano poteva comprendere la complessità del cosmo senza ricorrere a concetti magici, miti e dei.

Pensavano che con i nostri sensi non percepivamo il mondo reale ma che con la matematica avremmo potuto avvicinarci alla reale realtà.

Identificavano il numero **uno** con l'elemento illimitato.

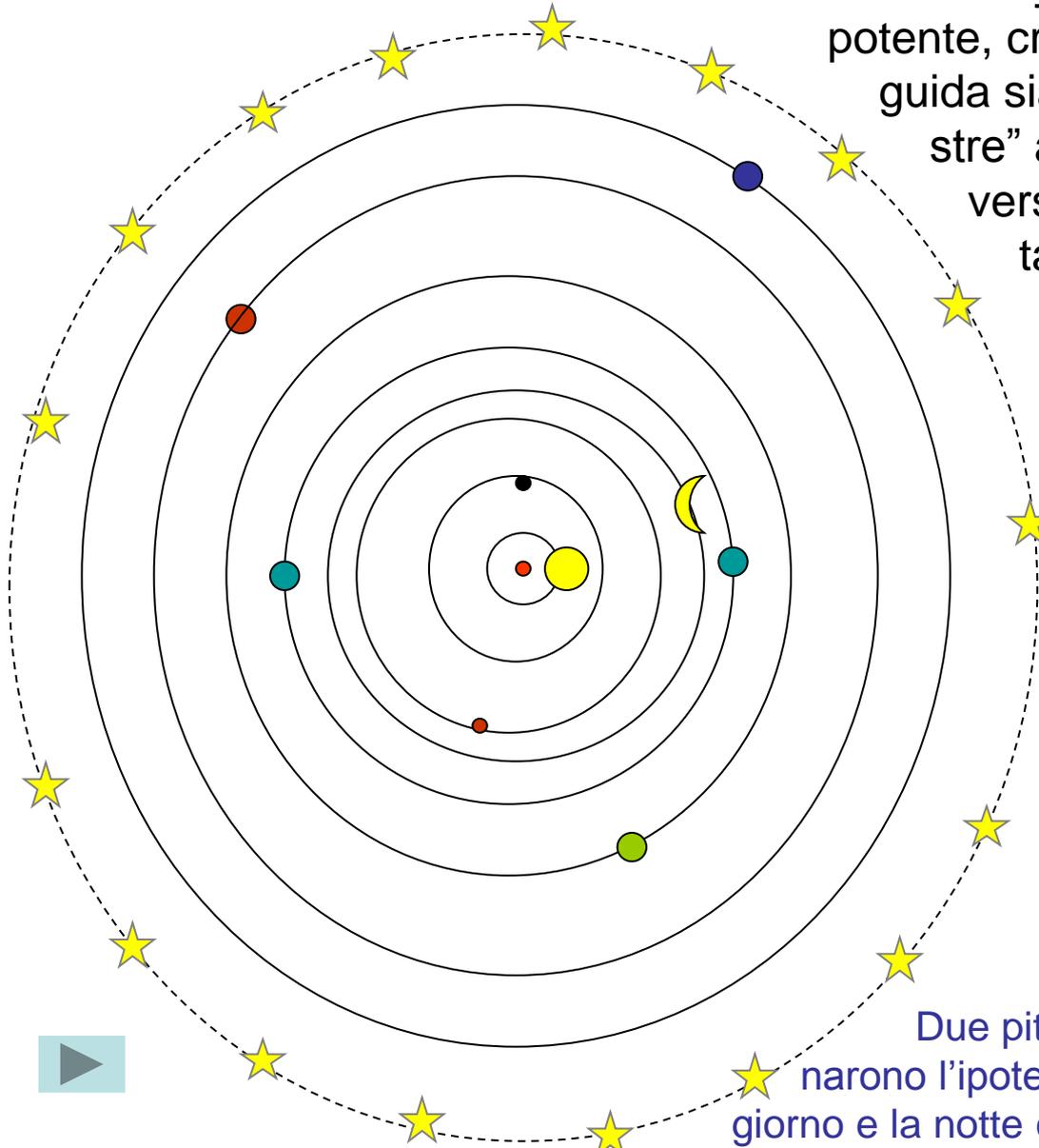
Pensavano ad una Terra rotante attorno a un fuoco che per alcuni era il Sole, con ciò spiegavano il giorno e la notte e le stagioni

Pitagora pensava che la Terra sferica e il cosmo con un senso legato ai numeri.

Nel V sec aC Filolao (Taranto), uno degli ultimi pitagorici, convinto che *tetractys* o decade "che era: grande, onnipotente, creatore di tutte le cose, il principio e la guida sia della vita divina che di quella terrestre" avanzò l'ipotesi che al centro dell'universo vi fosse fuoco attorno al quale ruotavano i sette pianeti e la Terra la

quale ruotava in modo sincrono con il Sole. Ma siccome il numero degli astri era nove, per raggiungere la decade introdusse un Antiterra un altro pianeta, collocato sull'orbita terrestre sul lato opposto alla Terra e sulla stessa orbita in modo che fosse sempre coperta dal Sole. È la prima volta che appaiono le sfere celesti, che perdureranno per 2000 anni. **Il Sole agiva come un cristallo che filtrava la luce del fuoco centrale**

Due pitagorici posteriori Efranto e Iceta abbandonarono l'ipotesi del fuoco e dell'Antiterra e spiegarono il giorno e la notte con una Terra rotante al centro del cosmo.



L'idea che si possa comprendere la natura in modo razionale nasce all'improvviso nelle città greche sulla costa occidentale dell'odierna Turchia. La nascente civiltà greca è profondamente diversa dalle grandi antiche civiltà mesopotamiche ed egizia che le sono vicine. Queste sono ordinate stabili e gerarchiche. Il potere è centralizzato e la civiltà si regge sulla conservazione dell'ordine stabilito. Il giovane mondo greco, al contrario, è dinamico ed in evoluzione continua. È aperto ad assorbire quanto può dalle civiltà vicine. Non vi è potere centrale. Ogni città è indipendente e all'interno di ogni città il potere è rinegoziato in continuazione fra i cittadini. Le leggi non sono ne sacre ne immutabili: sono continuamente discusse, sperimentate e messe alla prova. Le decisioni vengono prese in comune nelle assemblee. L'autorità è soprattutto di chi è in grado di convincere gli altri attraverso il dialogo e la discussione. In questo clima culturale, profondamente nuovo, nasce un'idea nuova della politica: la **democrazia**. L'idea è che le decisioni migliori possano emergere dal libero confronto di posizioni diverse. E nasce una nuova idea della conoscenza: la **conoscenza razionale**. Questa è una conoscenza dinamica, che evolve ed è continuamente discussa e messa alla prova. Come in politica, l'autorità del sapere viene soprattutto dalla capacità di convincere gli altri della giustezza del proprio punto di vista e non dalla tradizione, dal potere, dalla forza o dall'appello alle verità immutabili. La critica alle idee acquisite non è temuta; al contrario è auspicata: è la sorgente stessa del dinamismo, della forza di questo pensiero, la garanzia di continuare a migliorare. È l'alba di un mondo nuovo.

Nel 580aC a Mileto il filosofo Talete è il primo a porsi domande razionali sulla struttura del mondo: aveva osservato che la materia si presentava in tre stati: solido, liquido e aeriforme, l'acqua a sua conoscenza era l'unica sostanza che si presentava nei tre stati, quindi di conseguenza pensava che tutto fosse fatto di acqua, e che la Terra fosse un disco che galleggiava sul mare.

Pochi anni dopo il filosofo Anassimandro, concittadino, amico e probabilmente allievo di Talete, "La natura del cosmo è composta di **elementi illimitati** e di **elementi limitanti**. L'*illimitato* era una situazione indifferenziata, nella quale non erano state compiute scelte, non era stato dato alcun ordine, non erano stabilite le leggi che imponessero l'accadimento di certe cose e non altre. Della differenziazione era responsabile il *limitante*. Anassimandro non pensò all'*illimitato*, come qualcosa di cronologicamente antecedente ma di un sottofondo che rimaneva sempre presente nel mondo, fondamentale nei cicli eterni della distruzione e della generazione.". Pensa anche che la Terra è un grande sasso [tamburo(cilindro)] che galleggia nello spazio.

Parmenide, (di Elea, Sannio, e lo erano anche Milone e Zanone) pensava cose simili ma diceva che la **vera realtà non fosse percepita correttamente dai nostri sensi.**

Pitagora e i pitagorici ~530aC: scoprirono le relazioni tra i numeri e le lunghezze delle corde della Lira: una corda di lunghezza $\frac{1}{2}$ dava consonanza (era in **armonia**) con l'ottava superiore. La seconda consonanza si otteneva con una corda di $\frac{2}{3}$ che dava consonanza di una quinta (se una corda dava un do una di $\frac{2}{3}$ era in armonia un sol) e una corda di $\frac{3}{4}$ dava consonanza di una quarta (da un do un fa). I rapporti $\frac{1}{2}$, **$\frac{2}{3}$** , $\frac{3}{4}$ implicavano i numeri **1, 2, 3 e 4** che sommati fanno **10** (tetrakys) che era considerato il numero perfetto dai pitagorici.

La scoperta di sequenze numeriche applicate a cose reali come l'armonia indusse nei pitagorici l'idea: Che il pensiero umano poteva comprendere la complessità del cosmo senza ricorrere a concetti magici, miti e dei.

Pensavano che con i nostri sensi non percepiamo il mondo reale ma che con la matematica avremmo potuto avvicinarci alla reale realtà.

Si occupano anche del come ebbero inizio tutte le cose modificarono così le idee di Anassimandro. "La natura del cosmo è composta armonicamente di *elementi illimitati e di elementi limitanti*. Identificavano il numero uno con l'elemento illimitato. Asserivano anche che la Terra era sferica e non era immobile al centro dell'universo, anzi, ruotava su se stessa e questo movimento faceva apparire le stelle che erano fisse, in movimento.

Successivamente Platone (il maestro di Aristotele) ha idee simili a quelle dei pitagorici e pensa che la verità non la conosciamo, ma possiamo cercarla e arrivare a trovarla. (La verità è velata ma accessibile.) In *Fedone* fa affermare a Socrate che la Terra è tonda anche se non ha le prove per dimostrarlo.

Aristotele contrariamente a Parmenide, Pitagora e Platone: Pensa che i nostri sensi percepiscono la vera realtà e polemizza con i pitagorici, ed anche con Platone, dicendo che pensando che i numeri erano tutto confondevano il progetto con la costruzione. **E sosteneva anche, contro gli stessi filosofi, che il cosmo era eterno.**

-340aC - Aristotele

Afferma che la Fisica studia i corpi, le loro affezioni e i loro principi. **Caratteristica essenziale dei corpi è la loro potenzialità di cambiamento.**

CORPI CELESTI

soggetti al solo moto circolare uniforme

CORPI ESISTENTI SULLA TERRA, soggetti a quattro tipi di mutamento secondo:

la sostanza: generazione e corruzione
la qualità: alterazione
la quantità: aumento o diminuzione
il luogo: movimento locale

Due tipi di moto:

Ogni movimento ha una causa: un motore

Principio di Causa Effetto

netta distinzione tra movimento e quiete

Naturale:

viventi → **Il motore è l'anima**
corpi inanimati → **tendenza verso il luogo naturale**

Violento: **Motore esterno**, il moto perdura finché rimane il contatto motore-oggetto

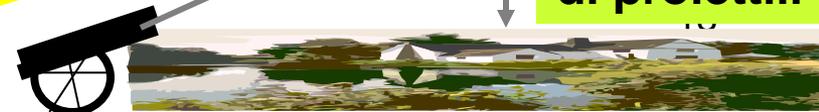
L'oggetto lascia il vuoto dietro di sé. La natura ha orrore del vuoto, quindi il mezzo riempie rapidamente lo spazio vuoto spingendo l'oggetto!

Velocità: proporzionale alla forza del motore e inversamente proporzionale alla densità del mezzo

Il vuoto non può esistere perché la velocità degli oggetti sarebbe infinita

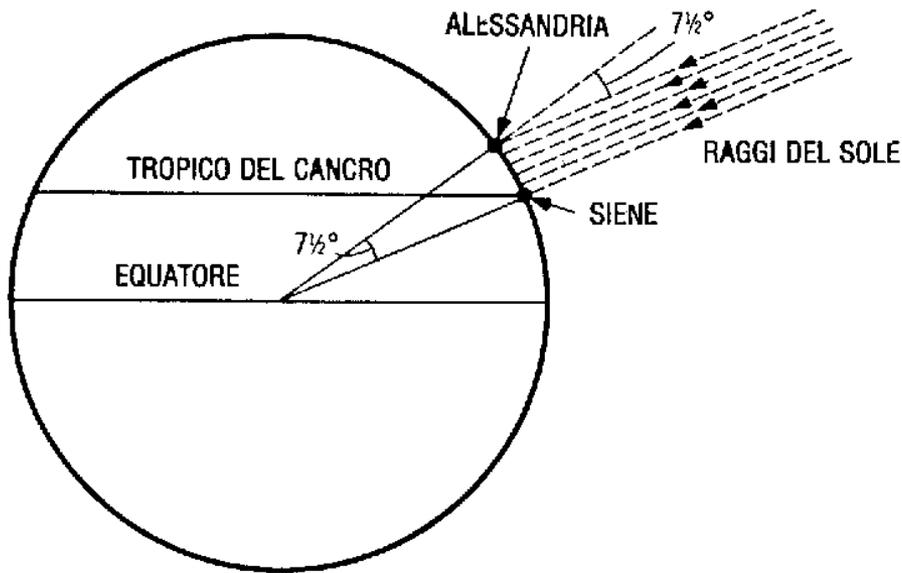
per oggetti lanciati l'impulso viene trasmesso al mezzo.

esempio di traiettoria di proiettili

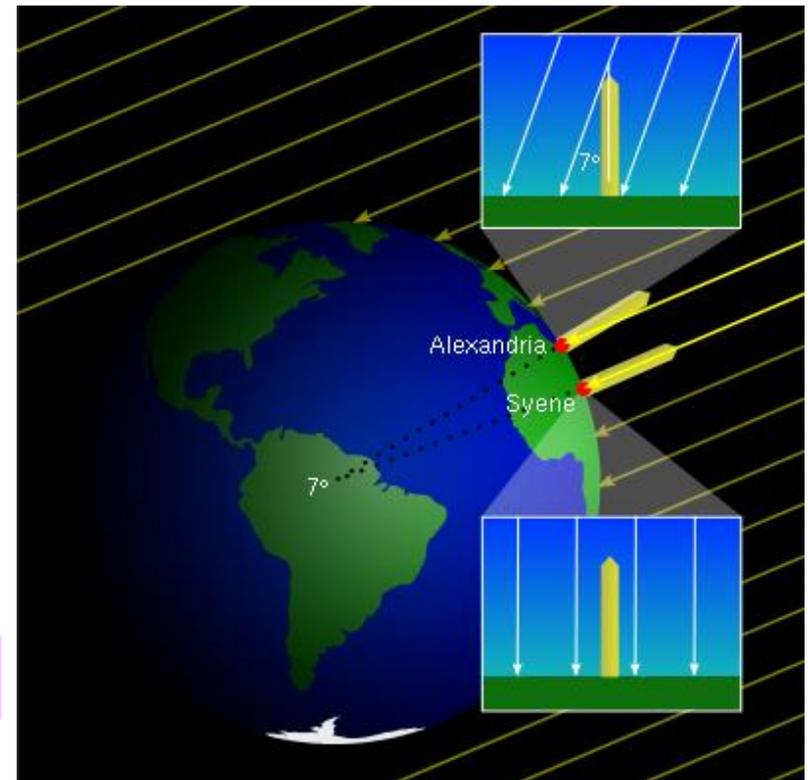


Dai Greci al Medioevo.

-240 a.c Eratostene misura il diametro della Terra



A mezzodì del solstizio d'estate (21 giugno) il Sole è a perpendicolo sui tropici.



Diametro della Terra ~ 13 000 Km

Con il tempo si afferma la filosofia aristotelica del buon senso e quindi la centralità della Terra diventa indiscutibile.

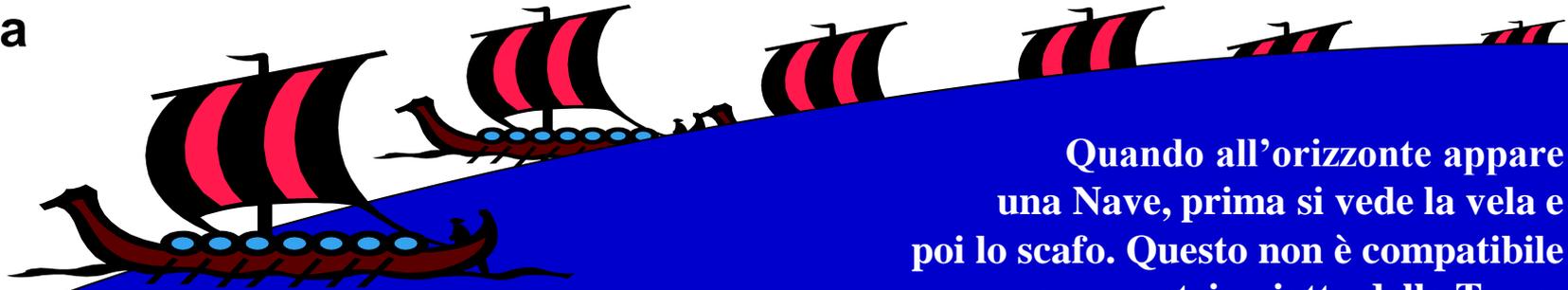
(Crivello di Eratostene...)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prime numbers
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	
111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	

**I Greci sapevano (Aristotele)
che la terra
è sferica**

IV sec ac

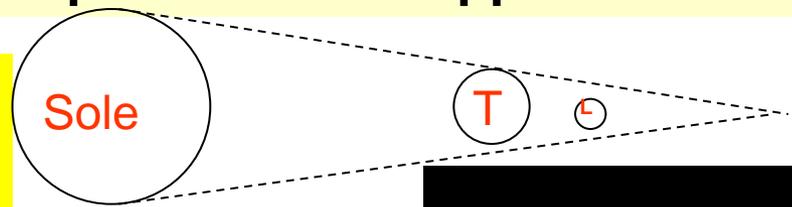
LA FORMA DELLA TERRA



Quando all'orizzonte appare una Nave, prima si vede la vela e poi lo scafo. Questo non è compatibile con una geometria piatta della Terra.

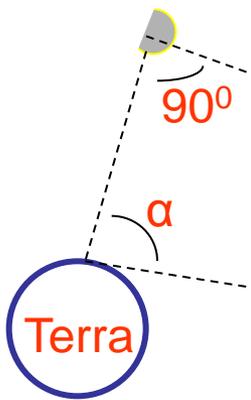
-Viaggiando verso sud alcune stelle spariscono e ne appaiono altre.

-250aC Aristarco da Samo
misura: la distanza Terra-Luna in ~390.000km



-Determina la distanza del Sole dalla Terra in ~20 distanze Luna-Terra

mezzaluna

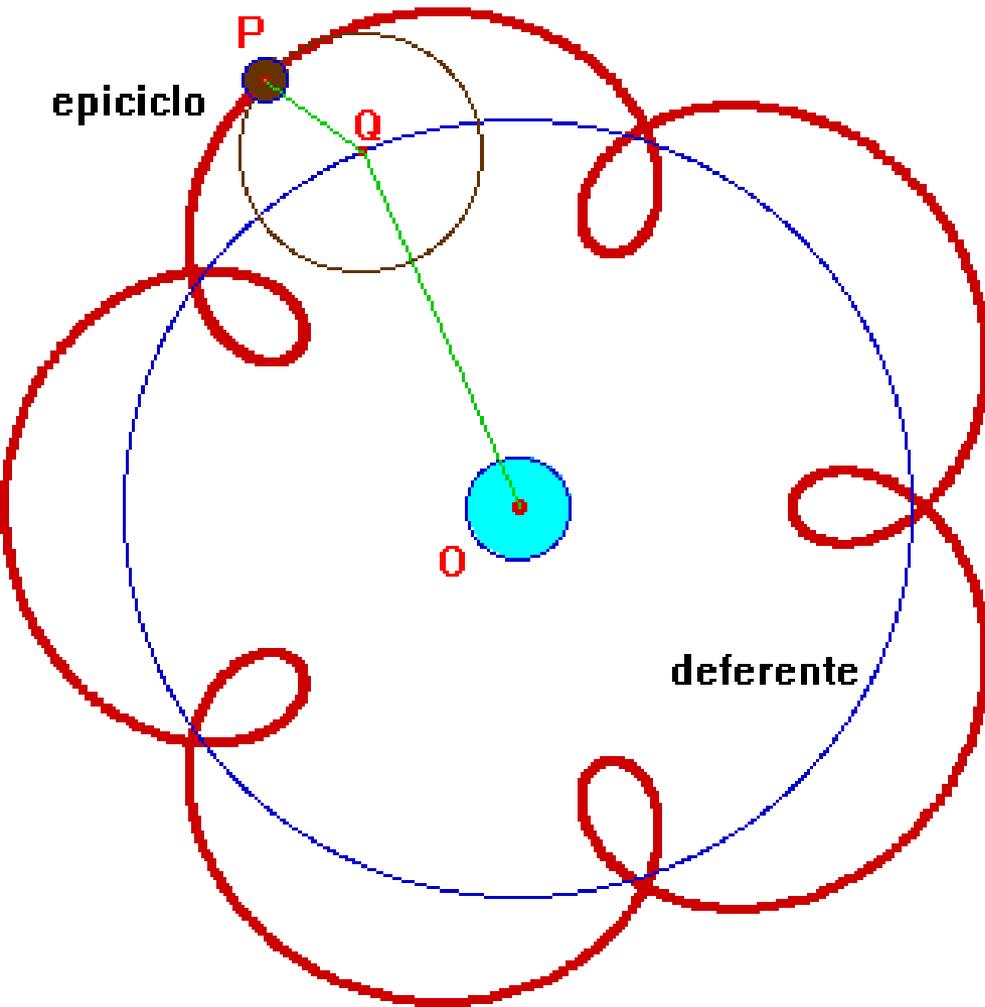


-Formula un modello cosmologico centrato sul Sole

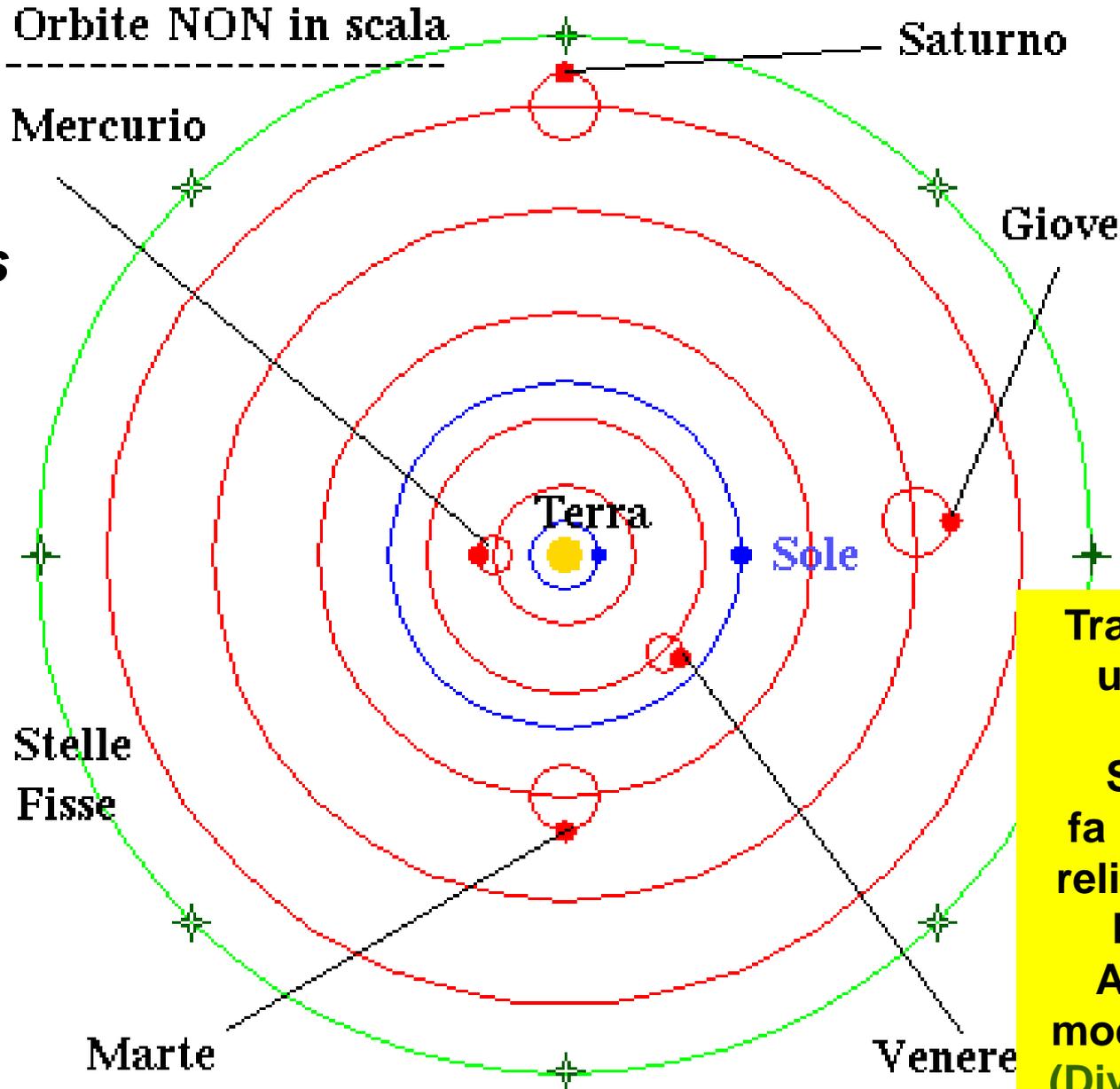


Contrariamente alle stelle i pianeti hanno movimenti retrogradi.

APOLLONIO: EPICICLI



II secolo d.C.: MODELLO TOLEMAICO



Il modello calcola gli eventi celesti con la precisione del 2% (utilizzato per gli oroscopi)

Tra XI e XIII secolo d.C. un movimento chiamato **SCOLASTICA** fa includere nella religione Cristiana la filosofia di Aristotele ed il modello Tolemaico (*Divina Commedia*)

La cultura ed il cristianesimo: Il cristianesimo aveva ereditato un magro capitale mate-matico e scientifico dai romani, dato che questi ne erano praticamente sprovvisti. Il cristianesimo ha introdotto il concetto di creazione e di linearità temporale, che sono stati importanti per lo sviluppo futuro della scienza, ma soprattutto sulla base della parabola: *“date a Cesare quel che è di Cesare ed ha Dio quel che è di Dio”* ha tollerato la divisione tra stato e Chiesa, punto cardine di un pensiero laico indipendente.

Ma fino alle crociate il cristianesimo si è dimostrato assai ostile alla cultura profana. La distruzione nel V sec.dC, della biblioteca di Alessandria (il materiale fu utilizzato come combustibile) e l’assassinio di Ippazia ne sono la prova.

Nei primi secoli a parte l’invito di Sant’Agostino *allo studio della natura e le sue leggi, per conoscere il libro della natura scritto da Dio con le opere e non con l’inchiostro*, alla critica al moto aristotelico di Filipono il quale tra l’altro era convinto contrariamente ad Aristotele che i gravi in assenza di aria cadessero tutti alla stessa velocità e che il materiale celeste non fosse diverso da quello terrestre (ma questi pensieri non ebbero un seguito) ed alle traduzioni in latino del corpus logico di Aristotele e parte degli elementi di Euclide fatte da Boezio nel 500dC, che fino al XII sec rimasero gli unici scritti matematici greci accessibili ai cristiani occidentali, altro di notevole non è stato fatto.

Solo sul finire del X sec accanto alla Cattedrale di Chartres si forma una scuola che si distingue per il recupero della classicità. Il contatto con la sapienza greca attraverso le traduzioni riempie di ammirazione convincendo alcuni che da questa eredità si può partire per un esaltante cammino di conoscenza. Da questa consapevolezza deriva l’affermazione di Bernardo di Chartres: *“Siamo come nani sulle spalle di giganti, sì che possiamo vedere più cose di loro e più lontane, non per l’acutezza della nostra vista, ma perché sostenuti e portati in alto dalla statura dei giganti”*. Inizia un forte movimento culturale chiamato SCOLASTICA per l’introduzione della cultura greca nel cristianesimo.

Ma un vero cambiamento dell'atteggiamento verso la cultura avviene con le crociate. Queste sono state fatte per molti motivi ma anche per la conversione dei mussulmani. I religiosi, che accompagnavano i crociati, capirono che era un'impresa quasi impossibile, dovuto alla abissale differenza culturale con l'Islam. Tornati nei conventi tradussero e trascrissero in latino i testi greci dall'arabo e si misero a studiare alacremente. Un altro fatto storico importante si ebbe con la graduale *Reconquista* cristiana della penisola Iberica strappandola ai mussulmani che vi avevano governato per più di 300 anni. La *Reconquista* fu molto lenta e terminò con una terribile cacciata dei mussulmani, ebrei e di molti convertiti. Ma per secoli prima i cristiani, assai incolti, si vennero a trovare di fronte ad una civiltà islamica ed ebraica molto colta ed intellettualmente aperta e si sono mescolati. I clerici che accompagnavano e seguivano i cavalieri rimasero molto impressionati dalla bellezza delle città e soprattutto dalle biblioteche di Cordoba, Toledo, Segovia e Lisbona che contenevano numerosi libri greci tradotti in arabo. Nel 1100 i cristiani già controllavano Lisbona e Toledo. L'arcivescovo Raimondo di Toledo invitò i dotti più importanti, a unirsi in uno sforzo, per tradurre in latino una grande collezione di testi antichi. I primi erano persone locali delle tre fedi religiose ma in seguito arrivarono da tutta Europa per lavorare senza alcuna censura. Un traduttore particolarmente prolifico, Gerardo da Cremona, tradusse una ottantina di libri tra cui l'*Almagesto* di Tolomeo e gli *Elementi di Geometria* di Euclide. Però ancora nel 1215 nel IV Concilio Lateranense si rimarcavano le non poche dissonanze tra la cosmologia aristotelica e la Bibbia (prima di tutte l'eternità aristotelica del Cosmo e la creazione biblica). Pochi anni dopo per merito di **San Tommaso d'Acquino** vengono superate le difficoltà e si può parlare di cristianizzazione dell'aristotelismo e la *Dottrina Tomista* viene riconosciuta dalle autorità ecclesiastiche come dottrina ufficiale della Chiesa. Nella fusione delle dottrine cristiane ed aristoteliche realizzata dal *Dottore Angelico*, le sfere celesti e la posizione della Terra assumevano un preciso significato religioso, politico e sociale.

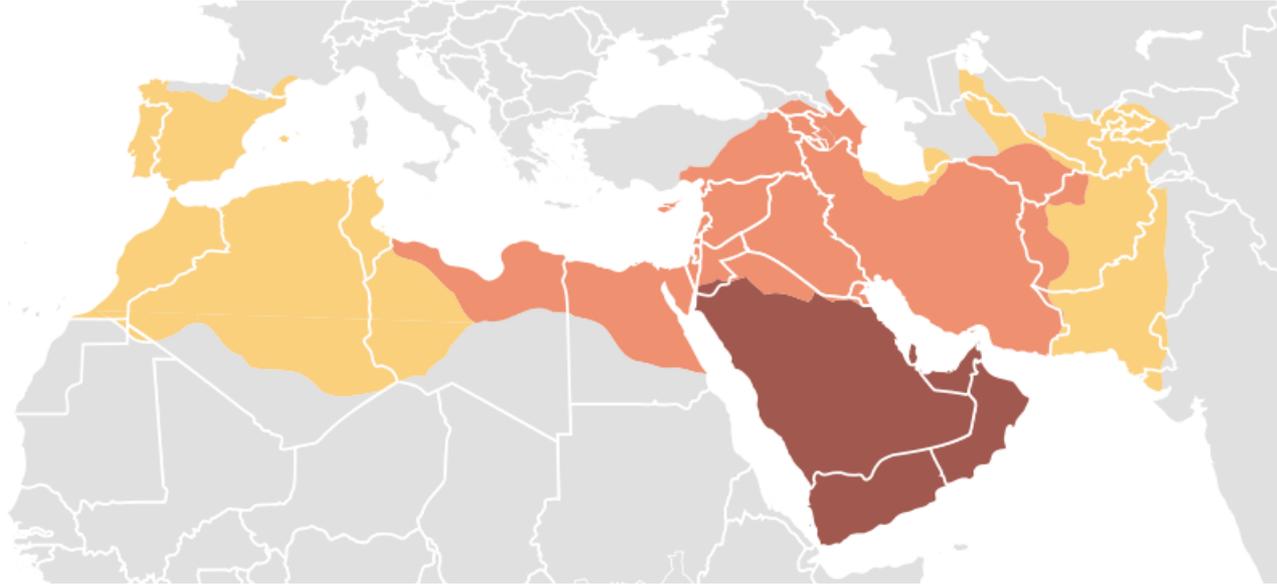
La cultura e l'Islam: Nel VII sec si sviluppò la religione islamica che in pochi anni occupò un ampio territorio che andava dal sud della Spagna al Sud Est Asiatico. In un così vasto territorio che usava un'unica lingua, quella del Corano, diverse importanti culture si fusero e si sviluppò la cultura islamica. Anche, se ci furono episodi di intolleranza culturale, come l'incendio del poco che era rimasto della Biblioteca di Alessandria, gli arabi tradussero in arabo tutti i testi greci che trovarono nelle regioni ellenistiche. Nel VIII sec. Arrivò a Bagdad l'opera più famosa di Tolomeo che dagli studiosi islamici fu tradotta e prese il nome di **Almagesto**. Nel 820 fu costruita a Bagdad la Bait al-Hikmah (Casa della Sapienza) con il compito di recuperare la scienza dell'antichità e di metterla disposizione dei lettori di lingua araba. Bagdad era allora una città cosmopolita dove le idee circolavano liberamente e le religioni minoritarie non erano considerate una minaccia. Hunain ibn Ishaq al-'Ibadi (Johannitius) un cristiano nestoriano principale medico di corte del Califfo, membro della Casa della

Sapienza fu tra i maggiori traduttori dal greco sia in arabo che in siriano il materiale. Nel X secolo a Bassora apparve la comunità Ikhwan al-Safà (Fratelli della Purezza) che aveva lo scopo di conservare e rendere accessibile tutto il materiale scientifico e filosofico che era venuto nelle mani dell'Islam, e con l'intento di coprire l'intero scibile umano crearono un'enciclopedia di ben 52 libri intitolata *Ras'il*. Dove in parte trascrissero testi antichi ed in parte introdussero concetti atti a dimostrare che l'intero scibile era un continuo di rivelazioni di profeti e filosofi, quali, Pitagora, Platone, Abramo, Gesù, Maometto e gli *Iman* che seguirono a Maometto e tutti facevano parte di un continuo.

Dagli indiani che avevano introdotto la numerazione di posizione inventando lo zero (anche i Maya lo usavano con una numerazione posizionale esadecimale) presero tra l'altro l'aritmetica. La numerazione di posizione è infinitamente superiore a quella greca e romana specie per le operazioni. In Europa fu introdotta dopo le crociate e fu usata dai banchieri italiani ma generalmente accettata solo nel 1500, perché erano considerate invenzioni diaboliche dato che gli islamici erano visti come gli assistenti del diavolo. Gli islamici svilupparono sviluppi importanti come gli studi di Avicenna a Granada, sulla fisica e a Bagdad da parte di al-Khawarizmi (o Al Choresmi) che iniziò l'algebra introducendo gli algoritmi.

La civiltà islamica fu molto indebolita dalle crociate, che misero in evidenza le divisioni politiche interne (*avevano grandi difficoltà nelle successioni del potere, in ogni occasione si innescavano delle guerre civili*) e fu quasi distrutta dall'invasione mongola del XIII sec e certamente non si riprese durante la successiva occupazione turca, del medio oriente e dell'Africa Settentrionale.

L'espansione islamica (VII-VIII secolo)

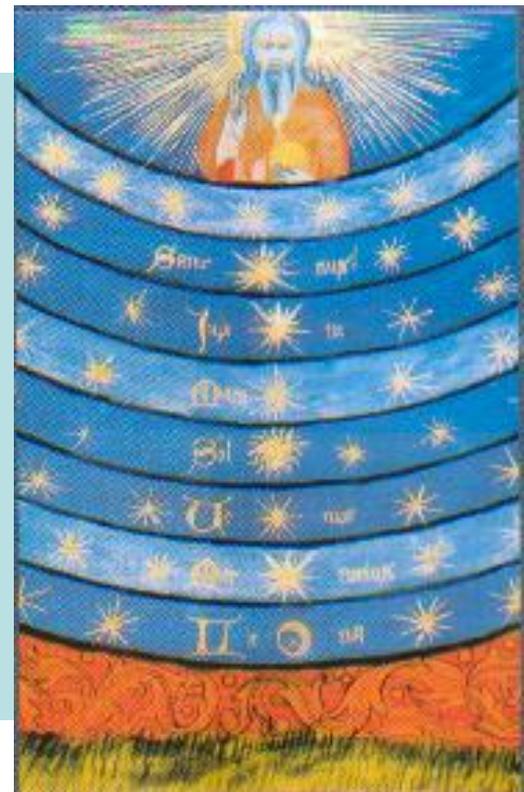


-  Espansione sotto il profeta Maometto, 622-632
-  Espansione durante il Califfato Patriarcale, 632-661
-  Espansione durante il Califfato Omayyade, 661-750

Impero Carolingio e Sacro romano impero (X-XV sec.)



Nella *Divina Commedia* dantesca che ricalcava lo schema tomistico le sfere celesti erano poeticamente mosse dagli angeli della tradizione cristiana. Nel trattato sulla *Monarchia*, Dante fa un suggestivo parallelo tra la natura gerarchica delle sfere celesti e la struttura politica sociale della civiltà occidentale medioevale. Dante non aveva difficoltà a paragonare il primo motore cosmico che animava e primeggiava sulle gerarchie angeliche, all'imperatore terreno e alla sua catena di vassalli. Scalzare la Terra dal centro dell'universo, infrangere le sfere celesti, rivoluzionare le concezioni meccaniche sui luoghi naturali, significava minare alla base non solo le concezioni scientifiche fondate sul senso comune, ma introdurre elementi eversivi in una concezione immobilistica e fortemente gerarchica del mondo politico e religioso. Muovere la Terra metteva in discussione la posizione di Dio nel Cosmo, la posizione dell'uomo nella scala dei viventi, quello stesso ordine sociale per cui nella iconografia medioevale il Dio primo motore aveva trovato significati e riscontri nell'ordinamento politico.



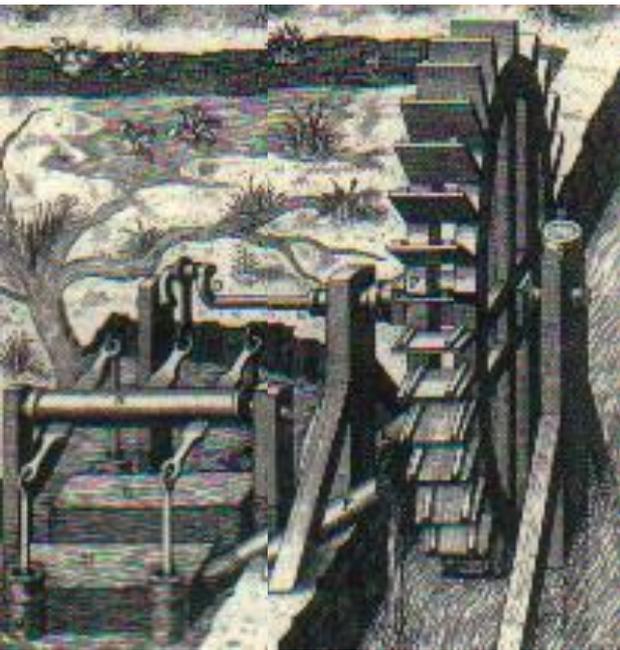
Alla prima rivoluzione del pensiero scientifico che chiamiamo **Rivoluzione Pitagorica** segue la filosofia del buon senso di **Aristotele** che con la Scolastica inclusa nel Cristianesimo fu una vera **controrivoluzione.**

A questo sviluppo culturale seguì un certo sviluppo tecnologico



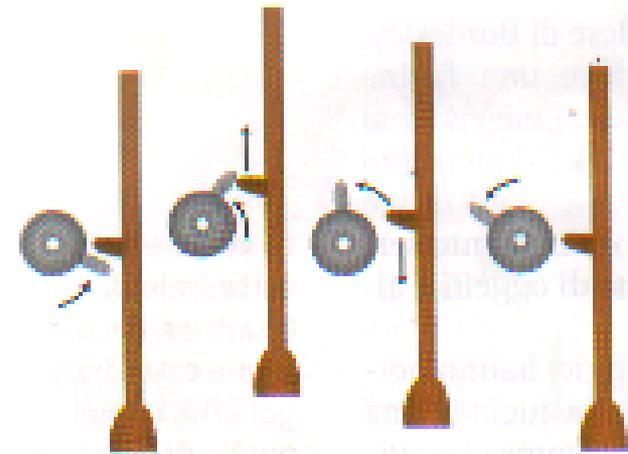
SVILUPPO TECNOLOGICO NEL MEDIOEVO.

-500 - 900dC nei conventi, per lasciare più tempo alla preghiera, si sviluppano i mulini ad acqua. Il moto circolare prodotto da una ruota orizzontale mossa da una corrente di acqua veniva trasmesso verticalmente ad una macina da mulino (400Watt) o per follare o cardare fibre tessili.



Gradualmente furono sostituiti dai mulini a ruota verticale (0.7 a 7KW) già usati nella antica Roma, anche se allora poco diffusi. Molti feudatari installarono dei mulini ad acqua nelle loro proprietà ed obbligavano i servi della gleba ad usarli a pagamento, perciò ebbero grande diffusione. Nel 1086 in Inghilterra ne erano installati 5624.

Durante il 1100 sono apparsi i primi alberi a camme usati per sollevare mantici o pesanti martelli da fucina con l'energia dei corsi d'acqua.



Successivamente con l'introduzione della biella il moto rotatorio si trasformava in moto lineare con continuità, sullo stesso albero si potevano inserire diverse macchine comprese le pompe.

Fu un susseguirsi di nuove applicazioni, che indussero chi non aveva i corsi d'acqua ad usare il vento, inventati in Persia nel 700 e portati in Europa dai crociati nel 1100.

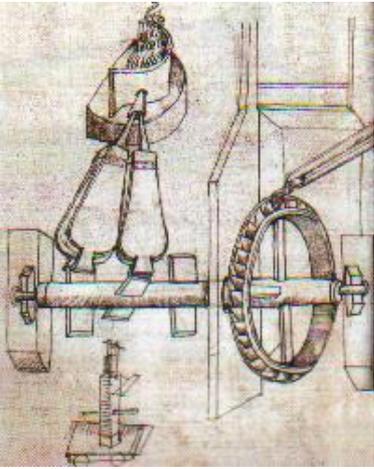
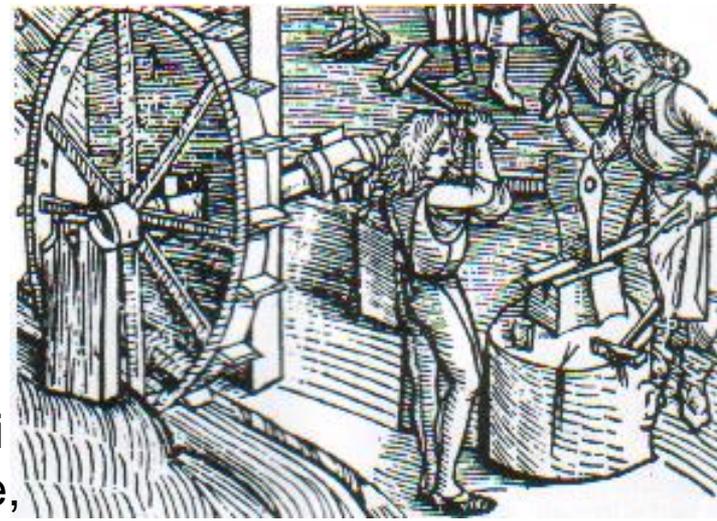
LA MECCANIZZAZIONE DELLA SIDERURGIA

Fino al 1800 il ferro veniva prodotto in forni mescolando i minerali (ossidi di Fe) con lignite. I forni non superavano la temperatura di 1350°C . Il Ferro fonde a 1550°C . Si produceva una massa di ferro e scorie (loppa). Per separare il Fe dalle scorie si doveva battere con il

martello. È quindi facile comprendere l'importanza dei magli mossi dai mulini verticali ad acqua con albero a camme,

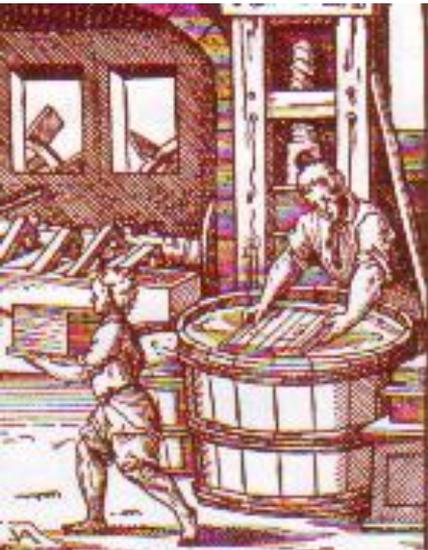
i quali erano usati anche per muovere i mantici. Una fucina medioevale era costituita da un mulino che con un albero a camme muoveva un maglio e un mantice.

Solo nel XIX sec. con l'uso dell'antracite si raggiunse la fusione del Fe ed iniziò industrialmente la produzione di ghisa, acciaio e leghe.



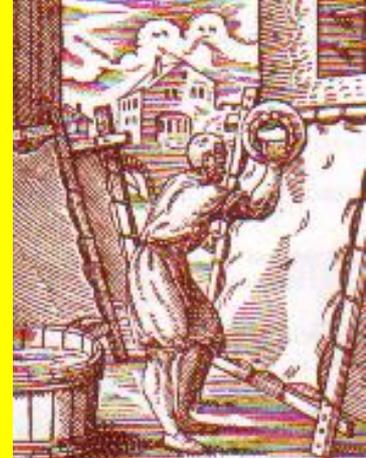
Sulle tecnologie medioevali si trovano pochissimi scritti, a parte poche cose scritte dai monaci cistercensi. La maggior parte delle informazioni è stata raccolta con scavi archeologici. Le ragioni stavano: nel fatto che gran parte degli artigiani erano analfabeti, nell'abitudine a tramandare le conoscenze tecniche oralmente dal maestro all'apprendista, dalla volontà dell'artigiano di mantenere i segreti per evitare la concorrenza. Il mondo accademico ed intellettuale considerava la tecnica qualcosa di servile per cui era disdicevole occuparsene. Si deve aspettare fino al **1556** che **Georg Bauer** (Agricola) un medico tedesco, che lavorava a Joachistal un bacino minerario boemo, pubblicasse ***De re Metallica***, un tratto della tecnologia metallurgica (per 200 anni rimase il riferimento).

LA CARTA E LA STAMPA

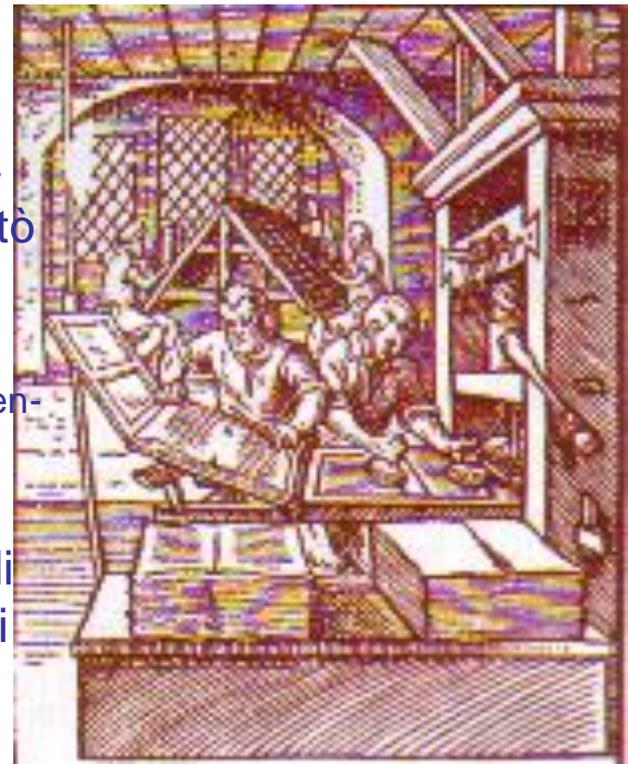


Qualche secolo p.C. i cinesi usavano la carta per scrivere. Era fatta di un impasto di fibre vegetali sospese in acqua e poi estratte sopra un filtro piatto e seccate. Nel 751 a Samarcanda i cinesi furono sconfitti dagli arabi che attraverso i prigionieri conobbero il segreto della carta. Nel 793 a Baghdad operava una fabbrica di carta. Attraverso la Spagna musulmana raggiunse l'Europa verso il 1150. A Fabriano si industrializzò il processo usando la forza idraulica per pestare le fibre vegetali.

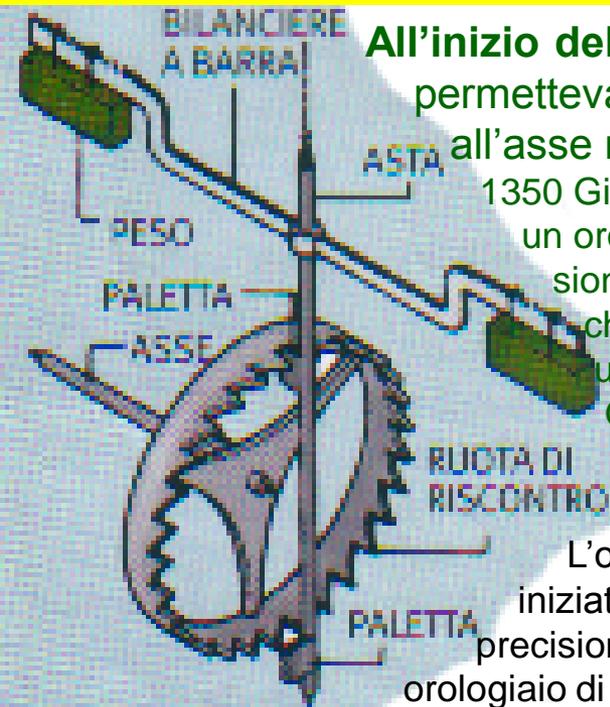
La scrittura si è sviluppata prima sulle tavole di argilla, in seguito gli egizi usarono il papiro, in seguito venne usata la pergamena che era pelle di capra o pecora trattata appositamente. Il materiale era molto caro per cui la diffusione degli scritti rimase molto limitata



~1450 Johannes Gensfleisch detto Gutenberg inventa la STAMPA a caratteri mobili. I caratteri, compresa la punteggiatura e gli spazi, erano incisi in rilievo in una lega 70% Pb, 25% Sn (per rendere più basso il punto di fusione) e 5% Sb per dare durezza. La pagina era composta in un telaio di serraggio. Inventò speciali spugne per cospargere un inchiostro fatto di trucioli di legno resinoso e di vernice di olio di lino. Nel 1454 commercializzò la Bibbia in latino tradotta da San Gerolamo realizzata con 290 caratteri differenti di 1282 pagine di 42 righe su due colonne. Nel 1500 il numero delle città con stamperie era di 286, erano state pubblicate 35000 edizioni di 15000 testi diversi ed erano in circolazione 20M di copie. I testi degli antichi, dei monaci e dei filosofi erano stati resi pubblici. Nel 1234 la stampa a caratteri mobili era stata inventata in Corea, non si ha idea se Gutenberg lo avesse saputo

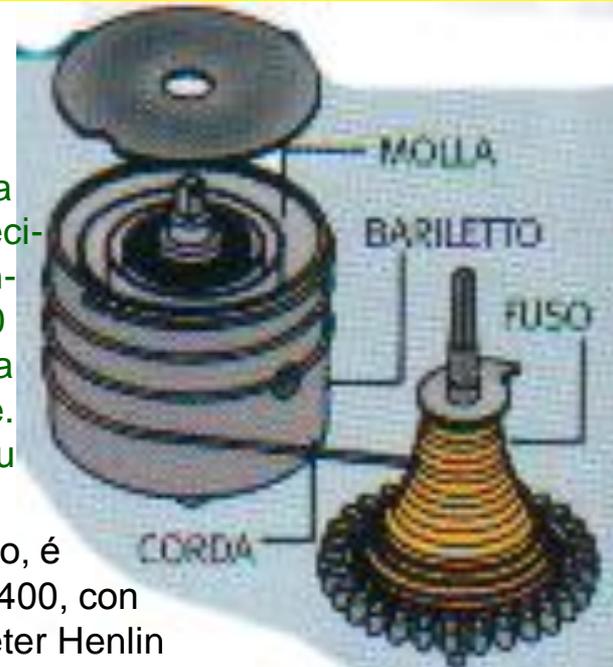


LA MISURA DEL TEMPO. La posizione dell'ombra di un'asta piantata nel terreno permette di dividere la giornata in periodi. Ovviamente funziona solo di giorno con il sereno e la posizione dell'ombra dipende dalle stagioni, si chiama **MERIDIANA**. Gli egizi inventarono una clessidra ad acqua (il tempo varia con l'altezza del livello). La usarono i greci per limitare la lunghezza dei discorsi. All'epoca di Carlo Magno arrivarono in Europa le prime **CLESSIDRE** a sabbia nelle quali la caduta è indipendente dal livello della sabbia. Alla **fine del 1200** si iniziarono a costruire in Europa nell'ambito dei monasteri, orologi meccanici: un peso in caduta legato ad una corda arrotolata su un asse lo faceva girare e questo muoveva un complesso meccanismo. La precisione era scadente.



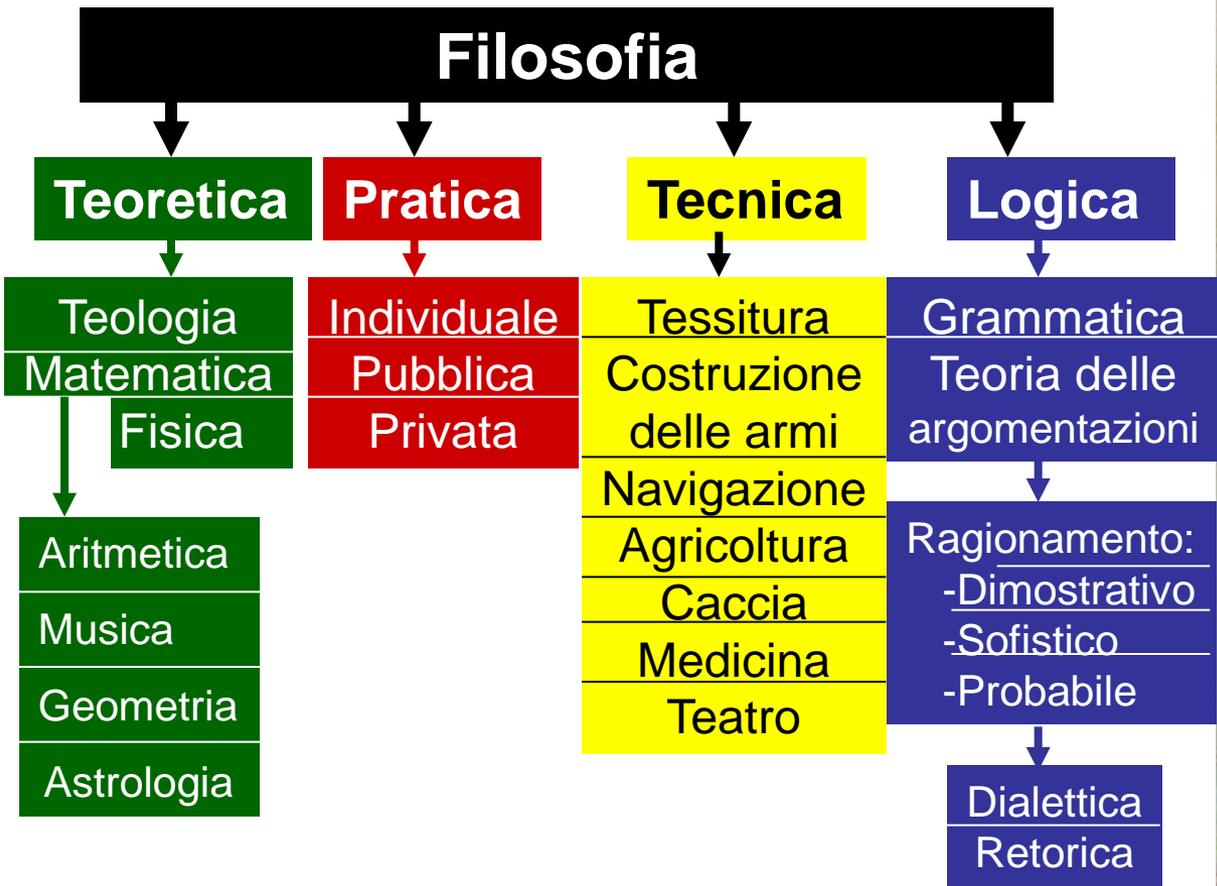
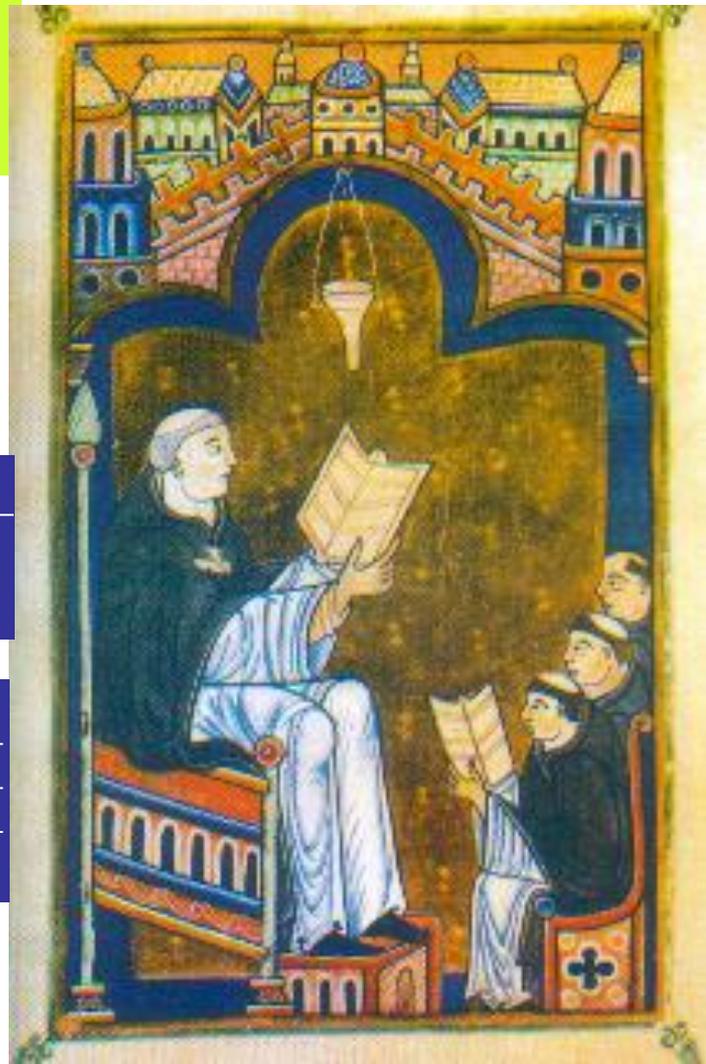
All'inizio del 1300 fu inventato il **bilanciere**, che permetteva l'avanzamento della ruota collegata all'asse mosso dal peso, a tempi fissati. Nel 1350 Giovanni Dondi costruì, per la città di Padova un orologio a pesi con bilanciere a barra. La precisione di questi orologi era scarsa: scartava anche di mezza ora ogni 24 ore. Solo nel 1600 usando il pendolo e le sue leggi scoperte da Galileo la precisione diventa soddisfacente. L'orologio a pendolo proposto da Galileo fu effettivamente costruito da Huygens.

L'orologio a molla, come organo di movimento, è iniziato con l'invenzione del fuso avvenuta nel 1400, con precisioni simili a quelli con bilanciere. Ne 1511 Peter Henlin orologiaio di Norimberga costruì un orologio grande come un uovo, segnava solo le ore ed una carica che durava 40 ore. 1665 Huygens introdusse il bilanciere con molla a spirale.



La bussola permise i viaggi transoceanici, ma il problema della longitudine rimase irrisolto. In particolare era grave per l'Inghilterra che aveva coste nebbiose. Dopo una serie di gravissimi naufragi nel 1714 il parlamento di Londra emise la *Longitudinal Act* che offriva un premio di 20000LS (10Meuro) per l'inventore di un metodo per determinarla. Un orologio che avesse mantenuto l'orario del porto di partenza con la precisione di 1sec/giorno, confrontato con la posizione del Sole avrebbe dato la longitudine. Con il rollio della nave e con le temperature diverse gli orologi a pendolo e a bilanciere non davano precisioni sufficienti. I metodi astronomici erano troppo laboriosi. L'orologiaio inglese John Harrison con l'invenzione dei cuscinetti a sfera e le lamine bimetalliche ottenne il premio (con molte difficoltà).

Dopo le crociate nell'Europa occidentale si svilupparono molte scuole in vari conventi una delle più importanti è la scuola di San Vittore a Parigi dove Ugo di San Vittore uno dei più importanti maestri nel *Didascalicon* dice "La filosofia si suddivide in **teoretica** (l'indagine speculativa), **pratica** (la scienza che studia le azioni umane cioè l'etica), **tecnica** (considera le attività del lavoro umano) e **logica** (la scienza del discorso) queste quattro parti insieme comprendono tutte le scienze umane.



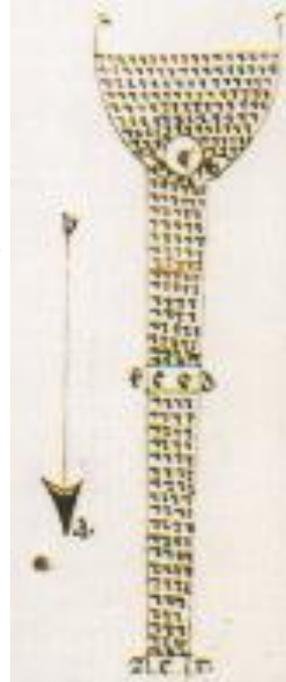
L'invenzione delle UNIVERSITAS:

Nata dall'esempio delle corporazioni delle arti e dei mestieri l'**universitas** (totalità) ha origine dal concreto bisogno di promuovere e garantire l'attività e i diritti di studenti e docenti delle scuole cattedrali.

L'università è una delle invenzioni più significative del Medioevo europeo e contribuisce alla diffusione e al rinnovamento delle conoscenze che non ha paragoni nelle civiltà coeve di Cina e Islam..... I fattori alla base di questo grandioso successo sono:

- La divisione nelle 4 facoltà tradizionale: **teologia, diritto, medicina e arti** (assai autonome)
- Un curriculum di studi innovativo grazie alle traduzioni in latino dei testi greco-arabi.
- Una preminenza dello studio della Filosofia Naturale nella facoltà delle arti, materia che era propedeutica alle altre facoltà anche se erano considerate più importanti (stipendi >)
- Una modalità di insegnamento che alla **lectio** ordinaria fa seguire la **disputatio**, in cui partecipavano come protagonisti anche gli studenti.
- Una sostanziale garanzia di libera discussione, senza armi, su tutti gli argomenti di studio dentro il recinto delle mura della facoltà. Questa garanzia si fondava sulle bolle papali che istituivano le diverse Università. Questo era il vero privilegio di queste scuole

La prima bolla papale del **1089 istituisce l'Università di Bologna** su una scuola giuridica precedente. I giuristi bolognese nei 20 anni seguenti riuscirono con argomentazioni legali a far assegnare al papa alcuni ricchi feudi imperiali in pianura padana. L'imperatore Federico II comprendendo che non poteva togliere al papa, i feudi perduti, con le armi, fondò l'Università di Napoli (la Federico II) per avere anche lui degli avvocati fedeli. Su motiva-zioni culturali e di opportunità nei 300 anni seguenti si fondarono in Europa una cinquantina di Università di cui un terzo in Italia. La rivalità tra il papa e l'imperatore era tale che ad ogni discesa in Italia allargava le autonomie universitarie, ed ad ogni sua partenza il papa lo imitava, creando quell'istituzione che ha cambiato la nostra cultura e società.



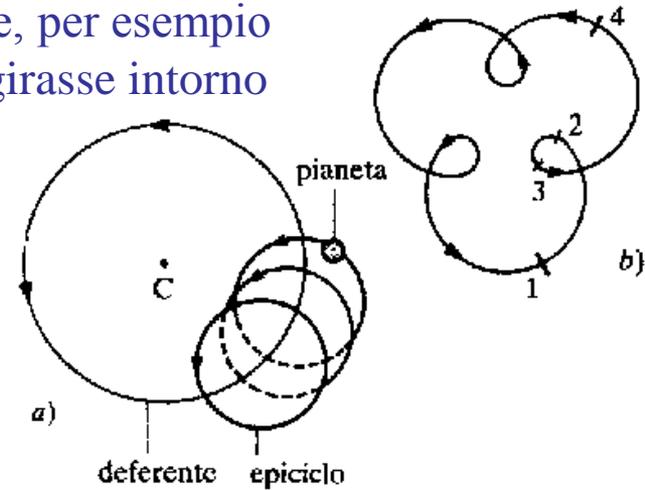
XII sec Giordano Nemorario dell'Università di Parigi pubblica nel *Liber de ratione ponderibus* una serie di soluzioni corrette per diversi problemi quali il piano inclinato dove *“la forza che subisce un corpo posto su un piano inclinato “direttamente proporzionale a un fattore compreso tra zero e uno dipendente dall’angolo di inclinazione (seno)”*. Fa anche dei lavori interessanti sulle leve, e per esempio come in figura fa vedere, che un getto d’acqua nella sua caduta si assottiglia perché accelera.

1330 **Giovanni Buridano** nei suoi corsi all'Università di Parigi e in *De Caelo* sostenne che: il proicente imprimeva al proietto una forza detta **impetus**, in funzione del peso e della velocità impressa, che agiva come una sorta di motore interno e perdurava finché non prevalessero forze contrarie come la resistenza del mezzo o la tendenza del corpo verso il suo luogo naturale. La proporzionalità tra forza (impetus) peso e velocità è una novità, che conduceva alla soluzione di problemi quali: perché si possa scagliare più lontano un sasso di una piuma oppure perché sia più difficile frenare una grande nave che una piccola barca oppure perché sia utile prendere la rincorsa per fare un lungo salto. Ma la teoria dell'*impetus* poteva essere generalizzata ad altri problemi come la caduta dei gravi e conduceva ad un approccio rivoluzionario al moto delle stelle: *con prudenza B. scrive “rimettendomi al parere dei signori teologi Dio dopo averle create, diede una spinta alle sfere celesti, che in assenza di resistenza non si sarebbe indebolita o distrutta con il passare del tempo.* Ovviamente rendeva superflue le *intelligenze motrici* di Aristotele e dei peripatetici, greci arabi e latini, senza abolire la differenza di sostanza tra Cielo e Terra. Ma Buridano faceva il primo passo per l'unificazione fra la Meccanica Terrestre e Celeste.

Il Rinascimento.

Nel XVI sec dC in pieno Rinascimento si sviluppa rapidamente una **vera rivoluzione scientifica** che parte timidamente con l'introduzione di alcune vecchie idee pitagoriche da parte di **Copernico** e **Keplero**, e segue con la deflagrante comparsa del **metodo scientifico** di **Galileo Galilei** e culmina con la formulazione della **meccanica** e della **gravitazione universale** di **Newton**.

Tra i greci, per la cosmologia, c'erano posizioni assai diversificate, per esempio Ipparco pensava che la Terra fosse ferma. Aristarco pensava che girasse intorno al Sole. A noi arrivò la filosofia aristotelica con il modello tolemaico. Per Aristotele le sfere celesti erano reali e costituite da materiale perfetto: il cristallo, ed erano immutabile, mentre la Terra era costituita da materiale comune soggetto a continui cambiamenti. Per Tolomeo il suo modello, compresi gli epicicli che spiegavano il moto retrogrado dei pianeti, pubblicato in *Syntaxis* più conosciuto come *Almagesto*, libro che ha dominato l'astrologia e l'astronomia per più di un millennio, era solo un **metodo di calcolo**.



-1543 N.Copernico: subito dopo la sua morte viene pubblicato dal suo allievo G.J.Rheticus

De revolutionibus orbium coelestium in continuo parallelismo, capitolo per capitolo, con l'***Almagesto*** di Tolomeo, tanto che Keplero poté osservare che Copernico più che la natura aveva interpretato Tolomeo.

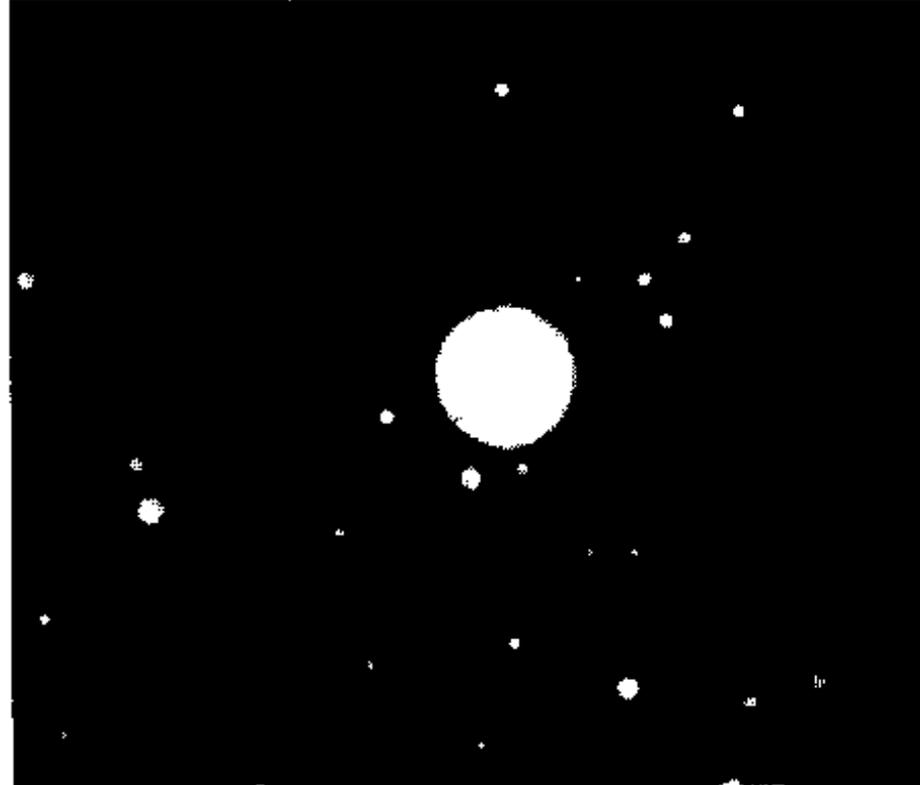
Frombork (Frauenburg Prussia Orientale) la torre utilizzata da Copernico per le sue osservazioni astronomiche



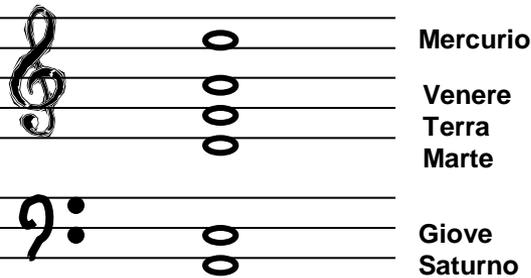
Retrograde Motion in the Copernican System

- ✓ L'apparente moto retrogrado dei pianeti non deriva dal loro moto, ma da quello della Terra. Il moto della Terra è sufficiente a spiegare il moto dei pianeti senza epicicli.

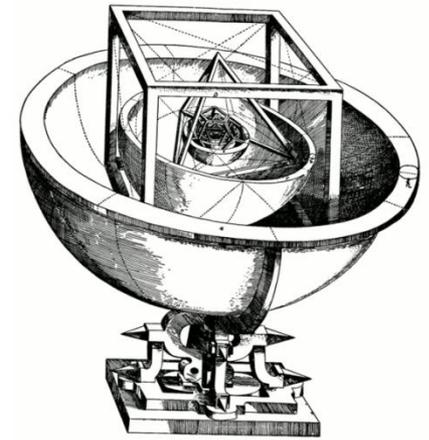
Nel 1572 appare una **nova** nel cielo della Cassiopea. Gli astronomi, Tycho, Digges, Maestlin e Dee constatarono con la misura del parallasse l'estraneità della nova dal mondo sublunare e compresero che l'immutabilità aristotelica dei cieli non era sostenibile. Questo fatto creò molte perplessità.



Johannes Kepler (1571-1630): era molto religioso quasi un mistico, con forti tendenze pitagoriche e platoniche, intravede la possibilità di avvicinarsi al pensiero divino geometrizzando le orbite dei pianeti. Fece vari tentativi sia geometrici che musicali ma ottenne pochi risultati approssimati.

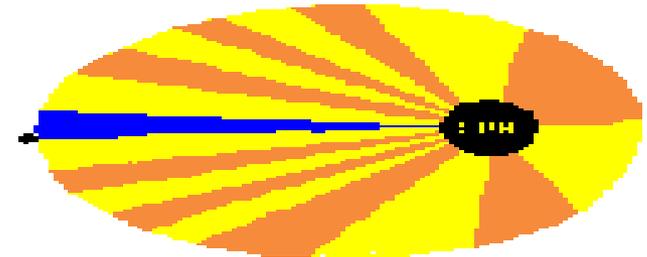
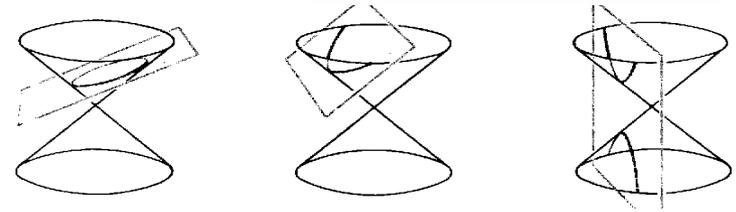


Per avere dei dati precisi, lavorò per l'astronomo Tycho Brahe, che lo maltrattava, ma con i suoi dati ebbe la possibilità di formulare:



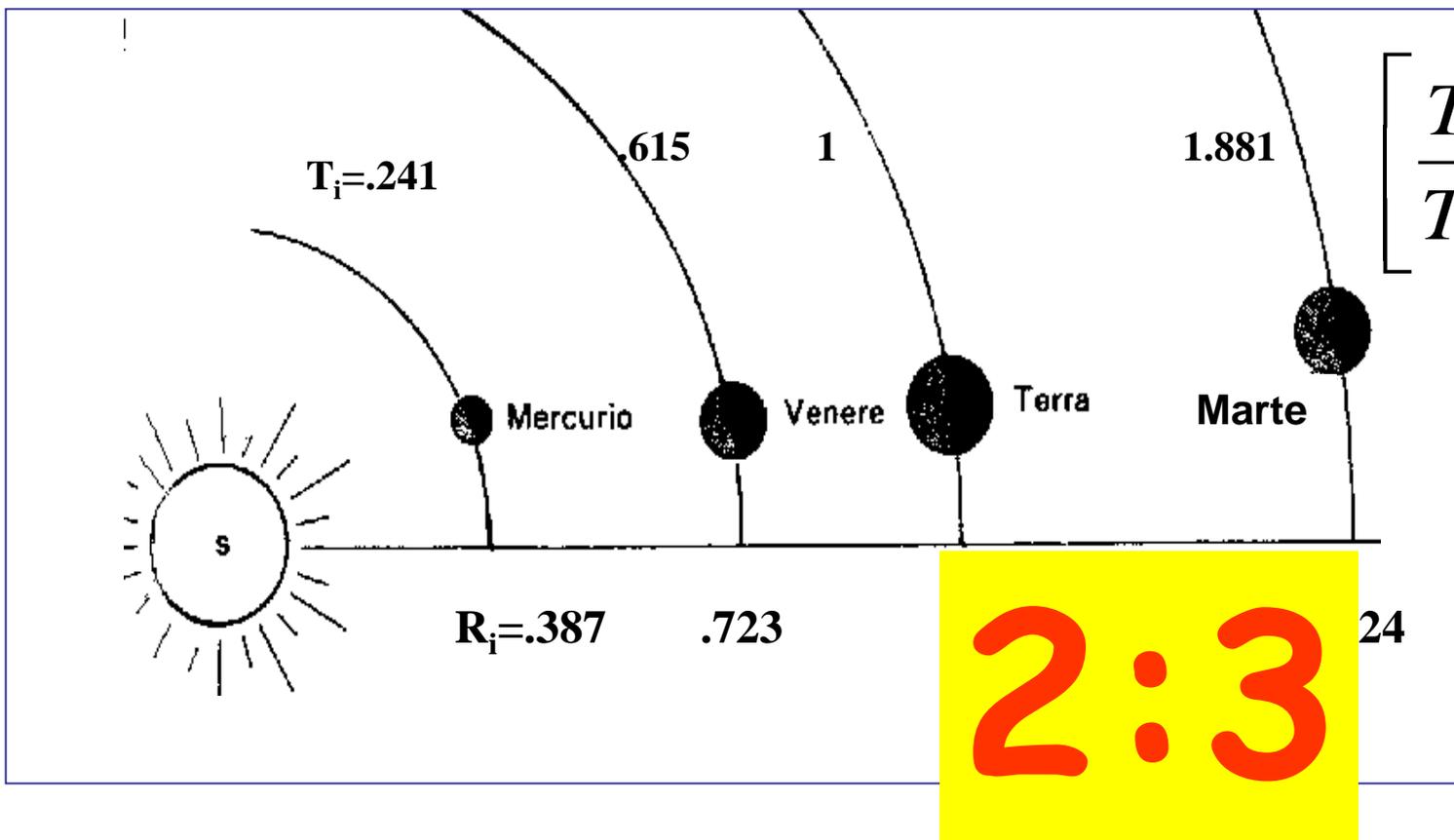
-1609 – Leggi di Keplero:

- 1- Le orbite planetarie sono ellissi ed il sole sta in un fuoco.
- 2- in tempi uguali le aree coperte dal segmento che unisce il Sole con il pianeta sono uguali.

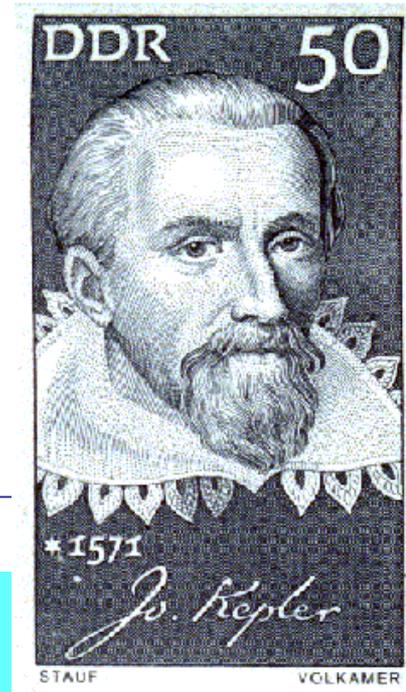


-1619 Sapeva che il rapporto tra il periodo T dei pianeti e la distanza media R era più che lineare e meno che quadratico. E poiché 1:1 e 1:2 corrispondevano all'unisono ed all'ottava decise, da buon pitagorico, che la soluzione era l'intervallo più naturale tra i due era 2:3 cioè una quinta.

3- I rapporti tra i quadrati dei periodi di due pianeti e quello del cubo delle distanze medie dal Sole degli stessi, sono identici. $\left[\frac{T_i}{T_j} \right]^2 = \left[\frac{R_i}{R_j} \right]^3$



$$\left[\frac{T_i}{T_j} \right]^2 = \left[\frac{R_i}{R_j} \right]^3$$



Keplero era entusiasta di avere finalmente applicato le armonie pitagoriche al cosmo ed esclamò:

“Mio Dio sto pensando i Tuoi pensieri dopo di Te”



Copernico affermava, come aveva anticipato nel 1512 nel manoscritto

De hypothesibus motuum caelestium commentariolus:

-Non esiste un solo centro di tutti gli *orbi caelesti* (sfere), ci sono, a differenza di Tolomeo, due centri di rotazione: la Terra che è il centro di rotazione della Luna e il Sole che è il centro di rotazione di tutti i pianeti.

-Il centro della terra non è il centro dell' Universo è solo il centro di rotazione della Luna ed il centro della gravità (questo riapriva il problema della sua spiegazione).

-Tutte le sfere ruotano intorno al Sole.

-Il rapporto fra la distanza Terra –Sole e l'altezza del firmamento è minore del rapporto fra il raggio terrestre e la distanza Terra –Sole. Quindi le stelle sono molto lontane, quindi il moto della Terra non dà luogo al moto apparente delle stelle fisse.

-Tutti i moti che appaiono nel firmamento non derivano dai moti del firmamento ma dal moto della Terra. Il firmamento rimane immobile mentre la Terra con i suoi elementi vicini, l'atmosfera e le acque della sua superficie, compie una completa rotazione sui suoi poli fissi in un moto diurno.

-Ciò che ci appare come movimento del Sole non deriva dal suo moto ma dal moto della Terra e della nostra Sfera con la quale ruotiamo intorno al Sole come ogni altro pianeta. La Terra ha pertanto più di un movimento.

-L'apparente moto retrogrado dei pianeti non deriva dal loro moto, ma da quello della Terra. Il moto della Terra è sufficiente a spiegare il moto dei pianeti senza epicicli.

Il testo del **Commentariolus** fu conosciuto da molti come manoscritto ma nel 1540 Rheticus pubblicò la **Narratio prima** che accanto ad una serie di considerazioni astrologiche sulla caduta dell'Impero Romano e la nascita dell'Impero Mussulmano e la seconda venuta di Cristo contiene una limpida esposizione della cosmologia copernicana.

Con il tempo fu un grande sovvertimento. Al punto che la parola **rivoluzione** deriva da **revoluzionibus** usata da Copernico nel senso di giro. Infatti: se la Terra gira intorno al Sole ed attorno a se stessa vuol dire che anche noi ci muoviamo a 30km/s. Se indichiamo un punto nello spazio, dopo un secondo si troverà a 30km, e questo non era accettabile per la mentalità dell'epoca, quando le maggiori velocità si raggiungevano con i cavalli al galoppo, e si confondeva la velocità con l'accelerazione. Altro grande tema era il fatto, da tutti accettato, che le leggi matematiche funzionavano bene in cielo ma non sulla Terra, per cui se la Terra non aveva una posizione particolare ma era un pianeta tra i tanti non c'era logica in questa affermazione.

Nel 1536 G.B. Amici pubblica un libretto nel quale propone per l'universo un complicato sistema di numerose sfere celesti. Indipendentemente G. Fracastoro propone un sistema diverso ma altrettanto complicato di 77 sfere (è la solita questione: si aumenta il numero dei parametri liberi per far quadrare i conti).

In questo ambiente la pubblicazione di Copernico non fu ben ricevuta:

-Lutero fa riferimento ad un astronomo da quattro soldi che affermando il moto della Terra, "intende sovvertire tutta l'astronomia e si pone in contrasto con la scrittura".

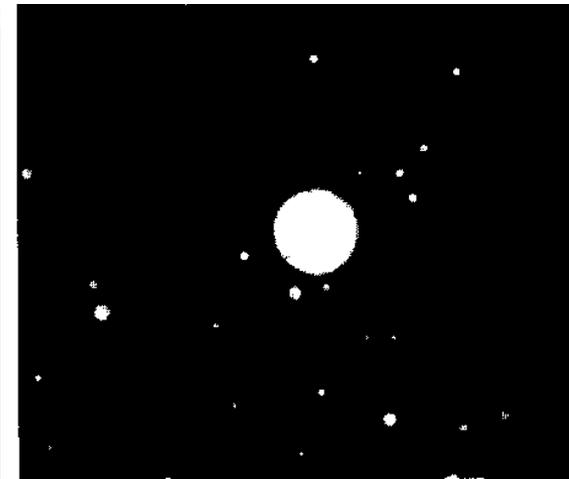
-F. Melantone (umanista erasmiano) dichiara che coloro i quali credono che l'ottava sfera e il sole non ruotino intorno alla Terra, sostengono argomenti empì e pericolosi contrari all'onestà e alla decenza.

-Calvino, senza mai citare Copernico, riafferma energicamente il valore letterale delle scritture.

-La Chiesa Cattolica non si pronuncia direttamente ma il domenicano G.M. Tolosani legato a B. Spina, maestro del Sacro Palazzo, e per l'occasione portavoce quasi ufficiale delle reazioni della Curia, prendeva energicamente posizione contro il nuovo sistema copernicano, che ai suoi occhi ha un difetto costitutivo ed essenziale: viola il fondamentale ed irrinunciabile principio della **subalternatio scientiarum** in base alla quale "una scienza inferiore ha bisogno della scienza superiore". Era ben noto che la prima scienza era la Teologia.

Non furono pochi quelli che apprezzarono il lavoro di Copernico, gli astronomi si mostrarono molto cauti, ma M. Mastlin, prof. a Tubinga e maestro di Keplero inserì il modello copernicano nei suoi libri. Il matematico G. Benedetti nega il valore degli argomenti ricavati dall'aristotelismo contro Copernico. Ai suoi occhi Copernico ha spiegato in modo divino la teoria di Aristarco.

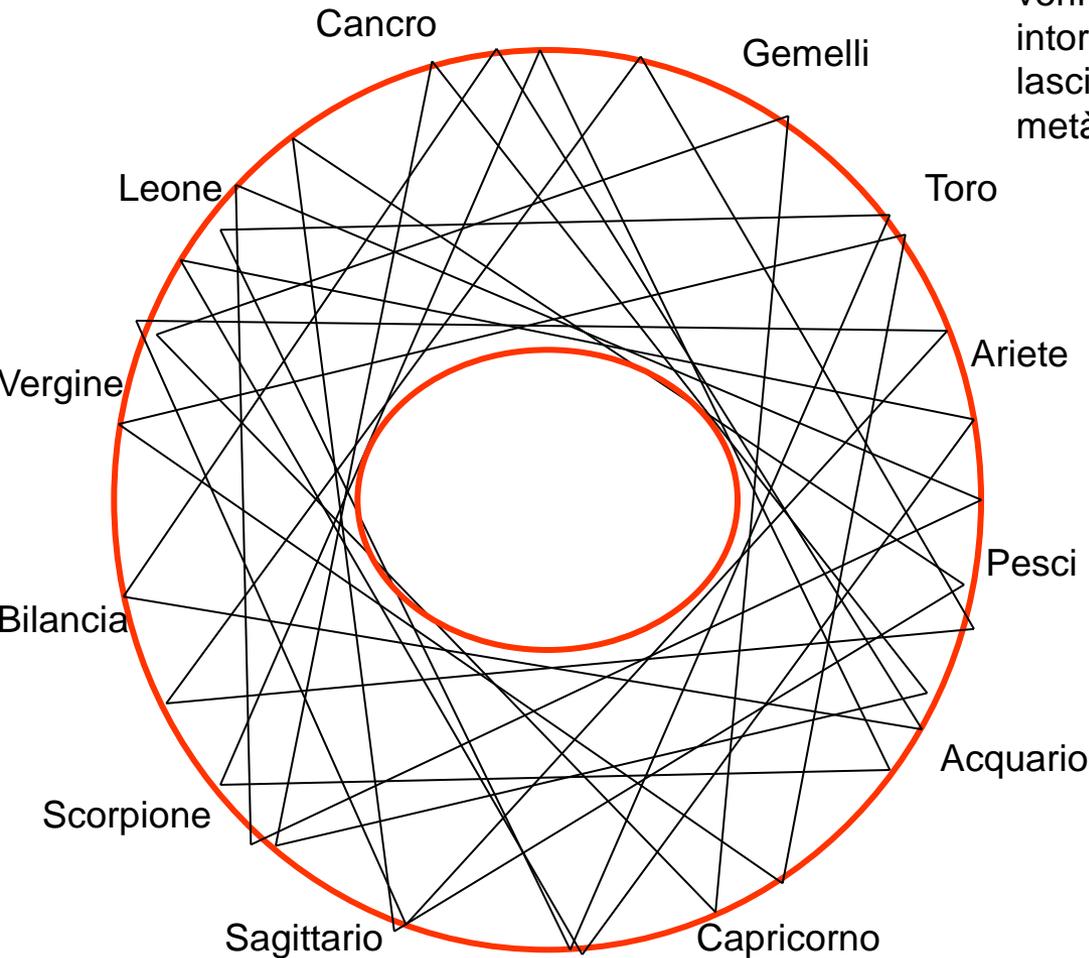
Nel 1572 appare una **nova** nel cielo della Cassiopea. Gli astronomi, Tycho, Digges, Maestlin e Dee constatarono con la misura del parallasse l'estraneità della nova dal mondo sublunare e compresero che l'immutabilità aristotelica dei cieli non era sostenibile. Questo fatto creò molte perplessità.



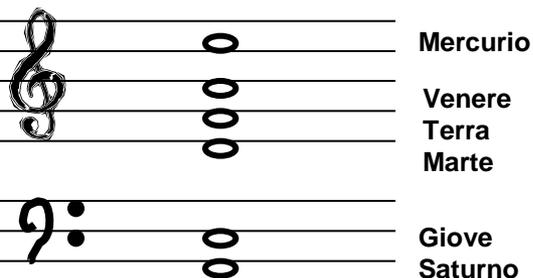
Johannes Kepler (1571-1630) arrivò a Tubingen nel 1589 per diventare pastore protestante e trovò Mastlin come insegnante, uno dei pochi che insegnavano il modello di Copernico e diventa un copernicano convinto. Nel 1594 va malvolentieri come insegnante di *matematica* nel seminario di Graz in Stiria. Il 19 gennaio 1595 stava facendo una lezione sui grandi congiungimenti di Giove e Saturno. Infatti visti da Terra ogni circa 20 anni Giove si avvicina a Saturno e lo sorpassa. Keplero disegna sulla lavagna un grande cerchio che simula lo zodiaco e disegna i punti degli ultimi 3 congiungimenti e scopre che formano un triangolo isoscele.

Poi disegna tutti gli altri triangoli per le altre date, verifica che non si sovrappongono ma ruotano intorno al centro e scopre che l'involuppo di tutti i lati lascia libero al centro un cerchio con raggio circa metà del

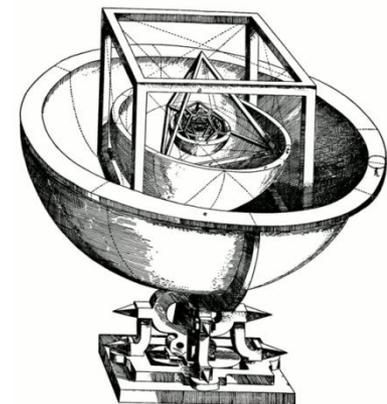
primo cerchio, Attribuisce a Giove l'orbita piccola ed a Saturno quella grande, infatti all'epoca si credeva che così fossero le proporzioni tra le orbite dei due pianeti.



Keplero era molto religioso quasi un mistico, con forti tendenze pitagoriche e platoniche, intravede nel lavoro precedente la possibilità di avvicinarsi al pensiero divino geometrizzando le orbite dei pianeti. Si entusiasma e prova con quadrati, pentagoni, esagoni, ecc, con le altre orbite, ma non ottiene nessun risultato. Allora prova con i cinque poliedri regolari, pitagorici, ed è convinto di esserci riuscito e pubblica nel 1597 *Mysterium cosmographicum* dove espone la teoria dei poliedri regolari inclusi negli sfere celesti e menziona la relazione tra le armonie celesti dovute al *vigore* (velocità) dei pianeti che si muovono sulle orbite. Nel 1599 in varie lettere a Mastlin, Galileo ed altri dice che il *vigore* dei pianeti deve essere in accordo con le cinque relazioni armoniche, le tre scoperte dai pitagorici, e le altre due inglobate nella nuova accordatura degli strumenti dell'epoca ed ancora valide. E propone il seguente schema

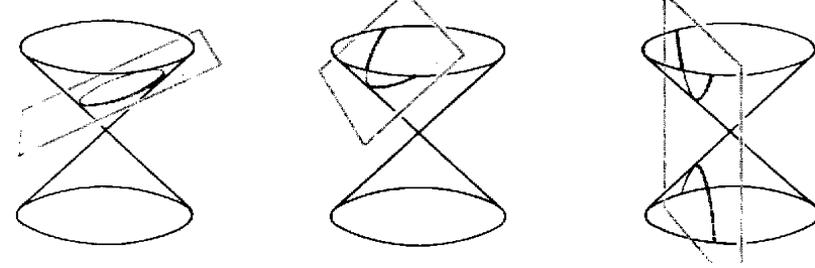


Avendo scelto le velocità nell'intento di creare un accordo armonico Keplero fu incoraggiato quando trovò che gli intervalli musicali non erano molto lontani dagli intervalli spaziali tra i pianeti nella sua teoria dei poliedri



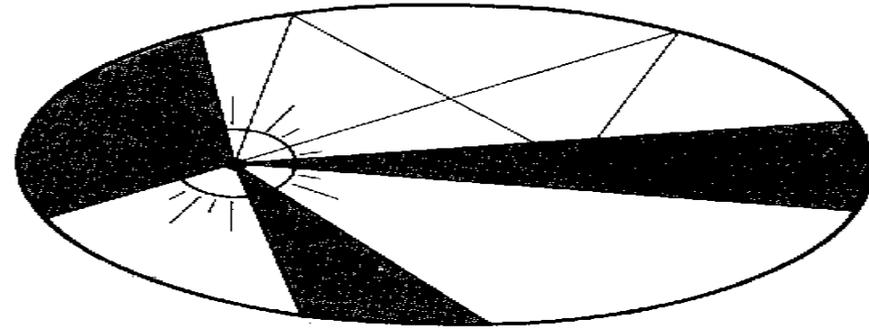
Keplero aveva bisogno di misure precise per verificare i suoi modelli geometrico musicali e fece in modo di aggiungersi al gruppo di Thico Brahe nel castello di Benarky presso Praga. Sperando di poter consultare i migliori dati sul moto dei pianeti accumulati negli anni da Brahe. La questione non è stata così facile non perché Ticho aveva un carattere difficile e sospettoso ed era estremamente geloso dei suoi dati e non aveva nessuna intenzione di metterli a disposizione di un copernicano convinto come Keplero, anzi lo trattava come un servo infedele e senza paga ma in autunno del 1601 Ticho morì e Keplero ne ereditò la posizione e la protezione dell'imperatore Rodolfo.

Per cinque anni Keplero sbatte la testa sui dati di Ticho, introdusse nuovi algoritmi matematici per venire a capo delle misure, ma l'orbita di Marte non rientrava in un'orbita circolare finché nel 1607 ha l'intuizione che l'orbita di Marte sia un'ellisse con il Sole in un fuoco e questo spiegava anche le velocità diverse sulle orbite che i greci avevano visto anche per l'orbita lunare.



1609 – Leggi di Keplero:

- 1- Le orbite planetarie sono ellissi ed il sole sta in un fuoco.
- 2- in tempi uguali le aree coperte dal segmento che unisce il Sole con il pianeta sono uguali.



Keplero passò molti anni a studiare il libro *Le Armonie*, ovviamente celesti, di Tolomeo ma dopo la formulazione delle prime due leggi si rese conto che il modello dei poliedri non poteva essere preciso dato che le orbite dei pianeti erano eccentriche e quindi cercò di trovare un altro modo per rendere i moti dei pianeti armonici. Sapeva che il rapporto tra il periodo T dei pianeti e la distanza media R era più che lineare e meno che quadratico. E poiché 1:1 e 1:2 corrispondevano all'unisono ed all'ottava decise che la soluzione era l'intervallo più naturale tra due 2:3 cioè una quinta. Nel nell'*Armonia del mondo*, nel 1619 formulò ben nove enunciati, molti legati ai poliedri ed alle armonie cosmiche ma c'erano le prime due leggi e la più importante la terza che diede immortalità a Keplero.

- 3- I rapporti tra i quadrati dei periodi di due pianeti T e il rapporto del cubo delle distanze medie dal Sole R degli stessi, sono identici.

La ricerca di un legame tra le armonie musicali e quelle del cosmo iniziata da Pitagora a Crotona fu trovata dopo 2 millenni da Keplero attraverso le potenze. Negli anni in cui si sviluppava il metodo scientifico aveva termine una ricerca che ai nostri tempi sembra leggermente stravagante ma che ebbe una enorme importanza, non solo perché ha portato alle leggi di Keplero ma perché ha tenuto viva l'idea che la si potessero scoprire le leggi della natura attraverso la matematica

Con le leggi di Keplero si possono determinare con precisione le orbite dei pianeti e le distanze relative.

Per conoscere le tutte le distanze reali tra i pianeti bastava misurare la distanza di due pianeti vicini, per esempio fra la Terra e Marte.

Keplero formulò anche una teoria, assai corretta delle maree, secondo lui erano provocate dalla attrazione della Luna sugli oceani terrestri per mezzo di una non meglio definita forza.

Galileo era molto contrario a questa teoria perché implicava un'azione a distanza che lui considerava una concessione alla magia e scrisse una lunga lettera a Keplero sull'argomento.