

Storia della Scienza

La Nascita della Scienza

- Il VI secolo Segna l'avvio della scienza e della filosofia in Grecia (grande espansione anche economica).
- Le colonie greche erano frutto dell'iniziativa della città madre ma con essa non mantenevano un rapporto di dipendenza politica.
- Già nel VII secolo vi era una grande arte che si esprimeva nella poesia (innovazione — alfabeto greco — sorge la prosa).
- La prosa consentì la nascita della riflessione scientifico filosofica.
- Nelle colonie ioniche la situazione era florida soprattutto a Mileto, qui nasce la scienza, intesa come teoria, contemplazione disinteressata della natura svolta nella fiducia dell'esistenza di un ordine razionale.
- I pensatori di Mileto ricevettero dall'oriente molte nozioni scientifiche riguardanti l'aritmetica, la geometria, e l'astronomia babilonese.
- Sono i fondatori della scienza per due ragioni:
 1. Si attribuisce a loro la **scoperta della natura**. Prima distinzione consapevole tra naturale e soprannaturale. Affermando che i fenomeni naturali non sono prodotti del caso e dell'arbitrio, ma sono regolati da successioni accertabili di rapporti causa effetto.
- Omisero sistematicamente qualsiasi riferimento a divinità (ma non sono definibili atei)
- Questo naturalismo lo si può ricollegare alla visione del mondo dell'Iliade. Fu il primo testo in cui gli avvenimenti del racconto sono determinati dal carattere dei personaggi. L'uomo è l'autore del proprio destino!
Omero libero l'uomo dalla tirannia degli dei. Omero creò l'umanesimo e l'umanesimo creò la scienza.
 2. Introdussero il **dibattito critico – razionale**. Furono i primi a conoscere il pensiero degli altri filosofi e a discuterlo criticamente.

I Pitagorici

- Il centro della riflessione filosofica e scientifica (seconda metà del VI secolo) si spostava nella Magna Grecia, dove emigrarono molti intellettuali, spesso per scappare dall'invasione persiana da oriente.
- Pitagora nativo di Samo si spostò a Crotone dove fondò una scuola; ben presto divenne un mito, una leggenda, è dunque impossibile stabilire quale sia la sua parte di pensiero e quale quella della scuola.
- La filosofia (prima volta che viene usato il termine) è per Pitagora la strada per la purificazione che prepara alla futura reincarnazione. l'anima si lava dei suoi

peccati con la contemplazione delle armonie ideali: musica e matematica. La matematica stessa e così inestricabilmente connessa con la religione, il suo studio è la via per giungere alla conoscenza del divino.

- I pitagorici diedero vari contributi alla matematica e alla geometria del tempo, imprimendole un impulso determinante.

In geometria diedero la prima sistemazione deduttiva delle conoscenze ricevute dagli orientali.

Molte di queste conoscenze matematiche si ritrovano in culture antiche, sia babilonesi sia indiane, ma i pitagorici ebbero l'enorme merito di ordinarle in un sistema deduttivo che, anche se non costituiva un sistema assiomatico del tipo presentato da Euclide, fornì sempre un esempio di lunghe catene deduttive, che partendo da osservazioni semplici ed evidenti, conducono passo dopo passo alla scoperta di proprietà più riposte e significative.

- Nei pitagorici non è presente l'idea che il numero sia un'astrazione. La matematica non ha distinzione dalla fisica, i numeri sono la materia delle cose e le cose sono i numeri. Su base matematica è impostata la loro fisica: i numeri erano l'essenza primordiale di tutto l'universo fisico.
- Importante la scoperta di un rapporto tra matematica e note musicali, che si convissero di un'armonia esprimibile numericamente tra le varie parti del cosmo.

La terra è considerata una sfera e così anche gli altri corpi celesti.

Filolao di Crotona: al centro della cosmo è posto il fuoco centrale, attorno a cui ruotano, oltre che le stelle fisse, la terra, il sole, la luna e i cinque pianeti, anche un decimo corpo, l'anti terra, sempre invisibile perché la faccia di terra da noi abitata è rivolta in senso opposto.

- Volendo cogliere nei numeri un valore che era al contempo fisico, morale e religioso, i Pitagorici diedero vita a una sorta di "mistica dei numeri", caratterizzata da una classificazione dei numeri non solo in pari e dispari.
- Pur in queste forme misticheggianti e analogiche, il pitagorismo ebbe il merito storico di aver indicato una via di studio della natura che impiega la matematica: con Pitagora la matematica cessa di essere strumento utile, e diviene strumento di conoscenza.
- Alla fine del V secolo venne scoperta l'irrazionalità della radice di 2, la quale distrusse tutto quel che vi era dell'edificio pitagorico. La leggenda vuole che l'esistenza degli irrazionali fu gelosamente tenuta nascosta!

L'Uno e il Molteplice

- Parmenide diede avvio ad un processo di chiarificazione concettuale di portata fondamentale per la geometria.

Differenzio tra forme fisiche e forme geometriche; affermando che alla geometria spetta lo studio degli enti di ragione e non delle proprietà dei corpi.

- Zenone mise in risalto le idee del maestro, evidenziando in particolare il lato logico matematico, lanciando una sfida a coloro che credono di poter comprendere il molteplice e il mutamento.
- Se la linea è composta di punti aventi una lunghezza elementare, sia pur minima, non è possibile muoversi da un punto all'altro, Achille "più veloce" non può raggiungere la tartaruga.

La Scienza dei Sofisti e Socrate

- Il relativismo empirista corrodeva le basi tradizionali della morale e della religione. Socrate fu colui che si oppose maggiormente a questo relativismo.
- Socrate condivide coi sofisti l'indipendenza dalle tradizioni, la tendenza a discutere sempre di qualsiasi argomento e l'identificazione del raggiungimento della verità tramite la sconfitta dell'avversario.
- Socrate cerca delle regole fisse per la morale, vuol trovare nell'animo umano quel che è per essenza e natura universale ed eterno.
- Egli fa compiere un grande progresso al concetto di "definizione universale", distinguendo tra definizione estensiva, fondata sulla enumerazione degli oggetti che entrano nella definizione, e intensiva, fondata sulla similitudine tra gli enti di cui si cerca la definizione.
- In definitiva il problema non è altro che il trovare una corretta definizione intensiva, una definizione che colga quanto vi è di più comune tra un gruppo potenzialmente infinito di oggetti.

Platone e la Scienza

- Platone fu il primo che tentò di rispondere a i grandi problemi della società dell'epoca con l'elaborazione di un progetto politico in cui si coniugassero potere e sapere, politica e filosofia, capace di affrontare la questione del governo impegnando la forza della saggezza anzi che la violenza.
- L'importanza della sua opera è un problema dibattutissimo; da un lato vi è stato chi lo ha visto come un dichiarato avversario della scienza empirica, altri invece lo hanno giudicato come il pensatore che ha indicato la via maestra lungo la quale si incamminerà poi tutta la scienza moderna.
- Il problema teoretico fondamentale è etico: la definizione del concetto di bene, il quale è al vertice della piramide concettuale.
Il suo interesse per la scienza è limitato ai motivi artistici, religiosi e morali che ad essa si ricollegano.

Molta influenza nel suo pensiero hanno avuto i Pitagorici, è infatti alla riflessione sulla natura degli enti geometrici che si può far risalire la teoria delle idee.

- Le idee hanno una propria esistenza. È dalla matematica, si può sostenere, che Platone trova la concezione di idea unita.
- All'idea Platone assegna il senso nuovo di "qualità" o "specie".
Le qualità esistono solo come oggetti di un mondo ideale, esprimono ciò che vi è di più comune tra specie o classi di oggetti materiali. Scopo della scienza è quello di trovare e ordinare quei caratteri fissi o comuni delle specie. L'ideale della scienza è la classificazione naturale.
- Ogni genere si divide in una specie; al sommo della classificazione sta l'idea del bene.

Queste suddivisioni del genere in specie sono colte dalla mente con un atto intuitivo che non pare trarre alimento alcuno dall'esperienza.

La visione di Platone è in netta contrapposizione con tutte le scienze empiriche, però afferma che l'astronomia teoretica può essere considerata utile per aiutare i re – filosofi a passare dal mondo delle sensazioni a quello della ragione.

Per il resto è sicuramente inutile studiare o esaminare seriamente la volta celeste.

- Più che una svalutazione della scienza il pensiero platonico riscontra una difficoltà nel conciliare razionalismo ed esperienza, verità e opinione. Importante distinguere tra essere e divenire; la scienza si occupa solo dell'essere, la spiegazione del divenire cercata nei concetti teologici, oppure nei miti e nelle analogie.
- Nel Timeo è esposta una cosmologia, ma l'argomento stesso che fa parte del mondo del divenire, esclude che lo si possa far intendere come una teoria esatta ma nemmeno provvisoria.
- Il mondo del divenire (opposto al mondo delle idee) è indicato come il miglior dei mondi creati, la più bella cosa del creato, fatto da un autore buono a imitazione del modello più perfetto e simile ad esso per quanto possibile. Lo studio della natura è per tanto dominato da un neologismo, da una ricerca esagerata del finalismo in ogni aspetto del mondo del divenire.
- La cosmologia riabilita la concezione della materia introdotta dai pitagorici: i quattro elementi della tradizione non sono veri elementi, essi sono riconducibili ai poliedri regolari e questi, a loro volta, ai triangoli rettangoli, con l'ipotenusa doppia d'uno dei cateti. Questi sono i veri elementi del mondo del divenire.(ottaedro aria, icosaedro acqua, cubo terra, tetraedro fuoco e dodecaedro cosmo).

- Platone distingue tra due tipi di movimento: quello della sfera delle stelle fisse, comune a tutti i corpi celesti, e i movimenti autonomi compiuti da i vari "pianeti" in senso opposto al primo tipo di movimento.
- Fondamento di un problema astronomico: come riuscire a combinare movimenti circolari uniformi in modo che i movimenti corrispondano ai movimenti apparenti dei pianeti?

L'alternativa scientifica a Platone: Eudosso

- Con Eudosso ebbe inizio la ricerca matematica come ricerca speciale, svincolata da pericolosi appelli ai concetti intuitivi del linguaggio comune. Abbandonò le credenze pitagoriche del linguaggio matematico come linguaggio universale (scarsa influenza di Platone sul matematico).
- Apporta una soluzione ai problemi in cui è implicato il concetto di infinito, non eliminando tale concetto che sarebbe impossibile logicamente, ma restringendolo nel suo uso, circoscrivendolo all'interno di un linguaggio speciale regolato da precise leggi operative.
- Eudosso comincia con l'elaborare una nuova teoria dei rapporti tra grandezze (**teoria delle proposizioni**) che sia valida anche per grandezze incommensurabili. È il primo principale strumento concettuale per esprimere le relazioni tra enti sottoponibili a un linguaggio quantitativo (fino al XVII secolo).
I pitagorici avevano elaborato una teoria valida solo per grandezze commensurabili.
- Teoria delle proposizioni: le grandezze formeranno una proposizione se qualsiasi siano i numeri m e n , i due rapporti A/B e C/D saranno sempre o entrambi maggiori o entrambi minori del numero m/n , perciò se non esiste una frazione m/n che sia compresa tra A/B e C/D , per la quale cioè risulti: A/B maggiore m/n maggiore C/D oppure A/B minore m/n minore C/D . Questa teoria può essere applicata a quei grandi problemi che tanta perplessità avevano suscitato nella storia precedente.
- Però il suo più grande contributo alla matematica fu il **metodo di esaurimento**. Un metodo che consente di trattare i problemi geometrici in cui si affacciano i numeri razionali.
Si tratta di mostrare l'equivalenza tra grandezze geometriche senza che questa possa ridursi al significato ordinario del termine, cioè alla scomponibilità in parti rispettivamente uguali.

Aristotele

- Tutto il sistema delle città stato era in difficoltà. L'invasione macedone svuotò in pochi anni quel che rimaneva del pensiero platonico.

La filosofia aristotelica riflette con chiarezza questa nuova situazione.

Il filosofo non è né il legislatore, né il demiurgo, né il profeta, è piuttosto il caposcuola dedito alla conoscenza disinteressata della realtà e al suo insegnamento.

- Da qui si sente il bisogno di una enciclopedia sistematica del sapere che si incarna in una nuova forma letteraria, quella del trattato scolastico.
- Aristotele compie una grande rivalutazione del ruolo dell'esperienza nel processo di conoscenza e, molto più di Platone, si è sforzato di indagare le procedure conoscitive che sono proprie della scienza empirica. È proprio nell'esperienza che per Aristotele avviene la prima percezione dell'universale. L'universale è ciò che è presente uno medesimo in una molteplicità di oggetti, ciò che accomuna un gruppo di oggetti, li delimita distinguendoli da tutti gli altri. Conoscere un universale significa sapere quale particolare forma, quale caratteristica posseggano gli oggetti appartenenti ad un determinato gruppo; la conoscenza degli universali permette di ordinare il mondo raggruppandolo in oggetti e in classi, ognuna delle quali è individuata da un universale particolare.
- L'esperienza è una tendenza all'universale; si potrebbe dire che l'esperienza consente una conoscenza in conoscitiva dell'universale; l'esperienza è conoscenza dei singolari, l'arte degli universali.
- L'esperienza è assimilata al che, la scienza è assimilata al perché. L'esperienza è conoscenza del che, la quale contiene l'esigenza del perché, è problematica. Ogni perché, ogni universale conosciuto, può a sua volta divenire un che, porre l'esigenza di essere a sua volta spiegato con un universale superiore, trasformarsi da spiegazione in problema. Attraverso successive problematizzazioni si giunge alla massima problematizzazione, rappresentata dagli universali per eccellenza, non scomponibili in parti, non definibili per genere e differenza specifica, vale a dire le categorie, i sommi generi.
- Egli attribuisce ad una funzione particolare della nostra mente, **nous**, la capacità di cogliere gli universali in modo intuitivo, senza soffermarsi a chiarificare gli enormi problemi che una simile affermazione solleva. L'atto conoscitivo del nous va distinto dalla scienza, è anteriore ad essa e condizione di essa.
- La scienza comincia quando noi cerchiamo di spiegare che i perché intuitivi del nous sono le vere spiegazioni dei che; la scienza, in altri termini, è eminentemente attività dimostrativa, deduttiva, che inizia quando finisce il lavoro del nous.
- Il sapere assume stabilità e compiutezza, si fa scienza, quando è in grado di mostrare un legame tra un che e la sua causa.

La necessità, tratto caratteristico della scienza, si ottiene con la dimostrazione, che per Aristotele coincide con il sillogismo scientifico.

- Per Aristotele non ogni sillogismo è scientifico, un sillogismo per essere scientifico deve avere vari requisiti, i più importanti sono:
 1. Le asserzioni che costituiscono le premesse e le conclusioni di argomenti deduttivi devono essere del tipo “tutti gli S sono P” , devono stabilire un rapporto di inclusione completa tra il gruppo degli elementi che possiedono la proprietà S e quelli degli elementi che possiedono la proprietà P. devono essere delle **asserzioni universali**.
 2. Le premesse di un sillogismo scientifico devono essere sempre **vere**.
 3. Le premesse devono **cause** della attribuzione che viene fatta nelle conclusione.
Aristotele individua quattro tipi di cause: la causa materiale, quella efficiente, la causa formale e quella finale.
 4. Le premesse da cui parte una determinata scienza, i suoi principi, devono essere primi, **indimostrabili**, non deducibili da altro.
Ogni scienza particolare è fondata su principi che sono in realtà dedotti dai principi di un'altra scienza di maggiore generalità, e questa struttura piramidale di scienza sarebbe alla fine subordinata alla scienza più generale di tutte, la metafisica.
- Oltre a principi propri la scienza usa principi comuni ad altre scienze(forse a tutte le scienze), come il principio di non contraddizione e il principio del terzo escluso(**assiomi**)
- Ogni scienza si fonda dunque su principi propri, adeguati a un genere, e questi principi sono indimostrabili; Aristotele però esclude poi che ci possa essere un genere unico.
I generi dell'essere sono una molteplicità irriducibile all'unità, dunque altrettanto molteplici e irriducibili all'unità devono essere anche le scienze. Ai generi supremi, che costituiscono la molteplicità irriducibile all'unità, Aristotele dà il nome di **categorie**.
- La scienza non può raggiungere l'unità del sapere questo è un compito che spetta alla filosofia.
La filosofia non è “una scienza delle scienze”, essa è differente dalle scienze perché non è dimostrativa.
La filosofia non dimostra ma argomenta dialetticamente. La filosofia è l'attività teoretica per eccellenza, capace di reperire la trama unitaria che collega le varie scienze e di riconoscere attraverso esse la struttura e l'ordine del mondo.
- La concezione aristotelica non intende assolutamente ridurre la scienza a matematica. Infatti la dimostrazione scientifica si sviluppa essenzialmente attraverso sillogismi, cioè connessioni tra proposizioni di tipo soggetto predicato. La matematica per Aristotele può solo descrivere gli aspetti

quantitativi degli avvenimenti osservati. La scienza aristotelica è nella sua essenza qualitativa, e non vuole assolutamente ridurre questa qualità a quantità.

- Scienza molto rilevante secondo Aristotele è sicuramente la biologia e, La classificazione dei viventi rappresenta il problema teorico fondamentale della biologia aristotelica. Questa classificazione dovrà essere sicuramente di tipo gerarchico .

Aristotele individua alcuni generi fondamentali, che differiscono tra di loro per parecchie caratteristiche rilevanti e che perciò possono essere raggruppati in vari modi. Due grandi classi: animali con sangue(vertebrati), animali senza sangue(invertebrati). Aristotele ordinò questi generi fondamentali impiegando vari criteri di classificazione , ognuno dei quali poteva servire a mettere in luce un aspetto importante dell'ordinamento dei viventi.

- Particolare rilevanza e importanza assume la fisica nel corpus aristotelico.

La fisica concede ampio spazio all'osservazione empirica.

Al centro della fisica aristotelica vi è il concetto di movimento , cambiamento, mutamento di un moto locale. Da qui Aristotele estrapola in concetto di "essere in potenza" che sta nel mezzo tra "essere" e "non essere".

Ogni essere realmente esistente è un "essere in atto", ma oltre a questi esistono anche esseri potenziali che aspettano di realizzarsi.

Il mutamento è il passaggio dall'essere in potenza all'essere in atto, dalla potenza all'atto.

- È considerato il quinto elemento! Il regno dei cieli è un mondo dotato di perfezione, è eterno e immutabile, ad esso si addice un movimento circolare. È superiore ai quattro elementi terrestri e capace per natura di muoversi in modo circolare: l'etere.

L'età dei grandi Matematici

- Le conquiste di Alessandro Magno (IV secolo) mutarono le condizioni politiche, sociali e culturali della Grecia. Venne a cadere la distinzione tra greci e barbari, sorsero nuove città in oriente, le quali con la grande ricchezza e con una nuova politica di grandi opere pubbliche attirarono il fior fiore della cultura greca.
- La vera cultura divenne una cultura del passato. Il modello di letterato diventò il coltissimo erudito che classifica, analizza interpreta gli autori a lui precedenti.
Proprio nello sviluppo di alcune scienze specialistiche, la matematica, l'astronomia e la medicina, la cultura ellenista del terzo secolo raggiunse la sua fioritura più importante(ma per un breve periodo).
- **Euclide:** oltre che di matematica scrisse ottica, di astronomia e di teoria della musica.

Si trattava di esporre sistematicamente una serie di dimostrazioni matematiche fondamentali, che sono alla base di tutte le proprietà geometriche concepibili.

Si basa sul concetto di **elementi** aristotelico: elementi sono quelle proposizioni geometriche le cui dimostrazioni sono contenute nelle dimostrazioni di tutte le altre proposizioni o almeno nella maggior parte di esse.

Adotta un sistema che parte da poche proposizioni generali delle quali tutte le altre sono logicamente derivate (primo sistema assiomatico).

- Distingue tra tipi di principi: le **definizioni** dei termini impiegati, le nozioni comuni che corrispondono agli assiomi aristotelici, i postulati, principi propri della geometria. I postulati sono 5 e si presentano a prima vista come supposizioni circa operazioni o proprietà geometriche molto chiare ed evidenti.
- Il sistema geometrico euclideo può essere visto come un sistema esplicitamente ipotetico che pone alla base alcune proposizioni la cui presunta evidenza era stata ampiamente messa in discussione dalla critica precedente.
- **Apollineo**: l'opera più importante è stata sicuramente "sulle coniche"; presenta un punto di vista estremamente generale a partire dal quale si può compiere l'intera trattazione, dimostra le principali proprietà dei tre tipi di coniche (ellisse, parabola ed iperbole) e tratta le soluzioni geometriche ad esse relative.
- Aristarco di Samo, contemporaneo di Apollineo fu uno dei primi a sostenere che il sole fosse immobile al centro dell'universo e che la terra ruotasse attorno ad esso, oltre a ruotare su se stessa ogni 24 ore. L'ipotesi eliocentrica non ebbe grosso successo; quasi tutti gli astronomi successivi si mantennero fermamente convinti della immobilità della terra.

Il Trecento lo Studio dei Mondi Possibili

- Nel XIV secolo la Chiesa maturò completamente il suo atteggiamento e si rivolse all'Aristotelismo, in particolare alla rielaborazione di Tommaso. Questa svolta fu determinata dallo sviluppo assunto dalla teologia nel corso dei primi decenni del trecento. Emerse l'esigenza di demarcare molto attentamente gli ambiti e i metodi della filosofia e della teologia.
- Dopo Scotto la Teologia si riconobbe diversa dalla filosofia, impossibilitata a procedere nelle proprie argomentazioni secondo la logica delle dimostrazioni scientifiche. La logica aristotelica ha un ambito di applicabilità delimitato alle cose della natura, non può essere impiegata per dimostrare le verità di fede. La filosofia è ricerca della verità che si sviluppa sul piano della ragione e dell'indagine della natura senza dover tener conto della verità di fede. In questo periodo in tutta Europa molti furono i filosofi e i teologi che prestarono moltissima attenzione a questioni logiche e linguistiche nella

convinzione che molti dei problemi teologici e filosofici nascessero da insufficienze della logica e del linguaggio.

- Tanta attenzione al linguaggio conferì alla cultura di questi autori un fortissimo carattere ipotetico. Il linguaggio non appare più come strumento di mediazione del conoscere umano, ma il suo stesso oggetto. L'oggettività non è la realtà esterna, ma è la struttura linguistica.
- Scaturì in questi studi un'importantissima distinzione in campo teologico: quella tra potenza assoluta di Dio e la sua potenza ordinata. L'onnipotenza di Dio infatti la si può descrivere come "potentia absoluta", mentre le leggi che lui stesso ha creato sono definibili come "potentia ordinata".

Guglielmo di O. fece di questa dialettica un uso importantissimo per sottolineare la radicale contingenza dell'ordine creato: il mondo esistente è uno dei possibili ordini che Dio avrebbe potuto creare e la sua immutabilità, la validità di queste, e non altre, leggi naturali, sono garantite da Dio, non dalla ragione. Ciò favorì l'inizio di indagini ipotetiche su tutti quei mondi possibili differenti dal nostro. Si affermò sempre più la tendenza a voler esplorare tali mondi secondo immaginazione. La ricerca si orientò così non tanto verso l'esplorazione del mondo reale, quanto piuttosto in direzione dei modelli ipotetici di realtà possibili.

- L'atteggiamento ipotetico linguistico trovò piena consonanza nelle correnti filosofiche. Il odio di affrontare i problemi della natura attraverso ragionamenti ipotetici esprimeva una sostanziale sfiducia nelle possibilità per l'uomo di poter conoscere la realtà.
- Ockham fu assertore di un rigoroso empirismo in cui non esiste né la possibilità di dimostrare l'esistenza di Dio partendo dall'ordine dell'esistenza naturale, né quella di dimostrare che questo ordine abbia un valore oggettivo, che esista una connessione necessaria tra le cose. Esperienza è la fonte ineliminabile di tutte le nostre conoscenze, ma sulla base dell'esperienza non possiamo conseguire conoscenze certe, dobbiamo limitarci ad affermazioni ipotetiche (nominalismo).
- **La Nascita della Cinematica:** Uno degli sviluppi scientifici più significativi del XIV secolo è rappresentato dall'emergere della cinematica, intesa modernamente come descrizione delle caratteristiche spazio—temporali del movimento, indipendentemente dalle cause di esso (scuole di Oxford). Gli oxfordiani si occuparono a fondo del problema di come le qualità (o le altre forme) crescano d'intensità, ovvero si occuparono del problema denominato come: intensione e remissione delle forme. Si definì che l'aumento o la diminuzione di intensità avvenga tramite addizione o sottrazione di gradi di intensità, quindi che il mutamento qualitativo sia riconducibile a un mutamento qualitativo.

Nello studio del moto locale emerse la distinzione tra cinematica e dinamica, tra studio dei corpi in movimento e studio dei corpi in relazione alle cause che li fanno muovere.

- La più notevole acquisizione teorica di questi studi fu la definizione di moto uniformemente accelerato e l'enunciazione di un teorema ad esso relativo. Questa trattazione fu affrontata senza l'ausilio della moderna e apparente intuitiva definizione di velocità.

In un movimento uniformemente accelerato lo spazio percorso in un dato tempo è pari a quello percorso, nello stesso tempo, con un moto uniforme di velocità pari alla velocità nell'istante di mezzo del periodo di accelerazione (teorema dell'accelerazione).

Un corpo che si muove di moto uniformemente accelerato a partire dalla quiete percorre nella seconda metà del tempo uno spazio tre volte maggiore di quello percorso nella prima metà (legge delle distanze).

La Nascita della Modernità

- **Il rinnovamento dell'astronomia: Copernico**

La formazione di Copernico avvenne in un periodo in cui gli astronomi stanno raggiungendo una conoscenza approfondita di Tolomeo e consideravano unanimemente che questo avrebbe dovuto essere il primo passo, assolutamente indispensabile, per avviare un ulteriore sviluppo dell'astronomia.

Copernico era un tranquillo uomo di chiesa e non si considerava un rivoluzionario, né un pioniere, piuttosto era ben conscio di quel che gli avevano insegnato i suoi maestri, cioè che l'opera di Tolomeo, appena riportata alla luce, non era di per sé sufficiente a infondere nuova vita all'astronomia.

Per superare molte difficoltà che si palesavano negli studi astronomici Copernico fece proprio il principio umanistico secondo cui ogni conoscenza doveva essere nascosta nei testi degli antichi e si rivolse ad analizzare quelle nozioni dell'astronomia greca antica che il sistema tolomaico aveva trascurato.

- Le vicende della formazione del sistema copernicano sono oscure, poiché Copernico, con grande prudenza, tenne nascosta la propria opera per oltre trent'anni. La riluttanza a rendere note le proprie ricerche era dettata in primo luogo dalla convinzione che i profani ne avrebbero travisato il significato (di certo non temeva la disapprovazione delle autorità ecclesiastiche).

La struttura del "De revolutionibus" ricalca fedelmente quella dell'"Almagesto"; ogni problema trattato nel testo antico è presente anche nel nuovo, i fenomeni spiegati da Tolomeo sono ancora i fenomeni che vuol spiegare Copernico, nulla di più, nulla di meno.

Ovviamente la differenza più rilevante e imbarazzante per Copernico era rappresentata dall'ipotesi della mobilità della terra, idea che era sempre apparsa assurda per il senso comune, oltre che per Aristotele e Tolomeo. Da qui nasce forse il timore del ridicolo che aveva fatto ritardare la pubblicazione dei propri risultati a Copernico.

- Copernico si preoccupò di riformare l'astronomia matematica, non si preoccupò invece di rivedere la cosmologia, la fisica, la filosofia tradizionale. Egli si limitò a un tentativo di rendere meno stridente possibile la contraddizione che veniva ad aprirsi tra l'idea di terra in rotazione e le idee dei filosofi correnti, senza contestare queste ultime (è più facile immaginare che si muova la terra, relativamente piccola, piuttosto che far ruotare il cielo immenso attorno ad essa. Quanto poi al timore che l'atmosfera rimanga indietro rispetto alla terra nel caso questa ruotasse, Copernico lo dichiara privo di fondamento, in quanto l'atmosfera è una parte della regione terrestre, quindi segue il suo moto; lo stesso faranno i corpi immersi nell'atmosfera e quindi, sassi in caduta e uccelli in volo ruoterebbero con la terra. Alla tradizionale distinzione, tra moti circolari, "naturali" per corpi celesti, e moti rettilinei, "naturali" per corpi terrestri, che impediva di attribuire alla terra un moto circolare, Copernico dovette rispondere modificando la rigida convinzione tra fisica celeste e fisica terrestre. La forma che per natura la terra possiede (sferica) la rende adatta a muoversi circolarmente, è naturale per la sfera ruotare.
- Nella teoria di Copernico non è più presente un unico centro di rotazione per i corpi celesti. La terra è tolta dal centro dell'universo (e in questo modo la gravità, prima ritenuta la tendenza verso il centro dell'universo, diventa un aspetto della natura, bisogno di spiegazione). Il sole ora diventa il vero centro dell'universo.
- Tutte queste innovazioni, pur importantissime, non erano ancora tali da scardinare totalmente l'antica immagine dell'universo: l'universo rimane finito, anche se molto grande, il sole non è una delle tante stelle, le sfere celesti continuano a sussistere.
- **L'astronomia dopo Copernico**
In Copernico si vide innanzi tutto colui che aveva dato un grande contributo all'astronomia osservativa, questo non di certo per le sue osservazioni sperimentali, ma per aver messo a disposizione degli astronomi uno strumento calcolistico efficientissimo per il calcolo delle posizioni planetarie. L'impiego del sistema copernicano non impiegava affatto gli astronomi ad essere copernicani e anche coloro che accettavano la visione del mondo di Copernico come vera non si sentirono in dovere di impegnarsi pubblicamente a sostenere la tesi della mobilità terrestre.

- Di fatto fino alla fine del secolo(XVI) la chiesa cattolica ignorò le possibili implicazioni eretiche del copernicanesimo, soddisfatta di considerarlo come una mera ipotesi matematica e usandolo come tale nella riforma del calendario del 1582. L'atteggiamento della chiesa cambierà dopo la condanna di Bruno.

L'Unificazione tra Cielo e Terra: Keplero e l'Astronomia

- Si abbandona la concezione dualistica della teoria fisica, distinta tra terrestre e celeste, propria della cultura passata, per avanzare verso instaurazione di una teoria unitaria, capace di trattare partendo dai medesimi principi tanto i fenomeni terrestri quanto quelli astronomici.

Keplero distrusse la convinzione millenaria, che i moti astronomici debbano essere movimenti circolari uniformi.

Il suo primo libro manifesta già la convinzione ferma dell'esistenza di un ordine e di un'armonia nell'universo ben superiori a quelli che si presentavano nei maggiori sistemi astronomici del periodo. Ci si ritrova in un'armonia duplice con mistica e matematica. Obiettivo del primo libro è mettere in evidenza le relazioni matematiche soggiacenti alle dimensioni delle orbite planetarie. Altro obiettivo, coincidente, era dimostrare la validità della teoria eliocentrica.

Dio ha deciso di creare un universo con sei pianeti, dunque eliocentrico, in quanto così richiedeva l'armonia geometrica.

- Studiando prima Marte e poi la Terra, Keplero si accorse che i calcoli relativi alle orbite fornivano risultati sorprendenti. Sviluppando poi quella che sarà denominata "seconda legge di Keplero": il raggio vettore che congiunge il sole e il pianeta descrive aree uguali in tempi uguali.
La seconda legge individua il modo in cui varia la velocità lungo l'orbita, qual è la forma dell'orbita?
- Approfondendo gli studi Keplero trovò quella che sarà definita come "prima legge": un pianeta descrive un'ellisse, di cui il sole occupa uno dei due fuochi.
- Solo alla fine degli studi arrivò la "terza legge" la quale afferma: per ogni pianeta il rapporto tra il quadrato del periodo di rivoluzione e il cubo della sua distanza media dal sole è costante.
- Keplero svela la suprema armonia matematica.

Galileo Galilei

- Il pensiero di Galileo sta a cavallo tra gli ultimi guizzi di vitalità della scienza antica e la nascita della scienza moderna.

Continuò sicuramente a mantenere profondi legami con la cultura a lui precedente, ma lo si deve definire come il punto di svolta, la figura di transizione.

- **Le ricerche giovanili sul movimento**

Nato a Pisa nel 1564, fin da piccolo si prestò agli studi scientifici.

Si sente fin da subito nei suoi scritti l'influenza di Archimede.

L'attenzione di Galileo fu presto attratta dal problema di elaborare una teoria del movimento, questione centrale tra gli studiosi italiani.

Le ricerche sul movimento compiute durante il periodo di insegnamento a Pisa trovano espressione nel trattato rimasto inedito intitolato "De motu".

Il "De motu" marca una netta frattura con i primi scritti di Galileo e, quindi, con la scienza dei gesuiti. Si mostra una critica radicale all'aristotelismo.

- Innanzitutto Galileo respinge la distinzione abituale tra moti naturali e moti violenti assumendo un'interpretazione dei moti naturali, verso l'alto e verso il basso, simile a quella di Avenpace: non esistono corpi assolutamente leggeri o assolutamente pesanti, un corpo si muoverà verso l'alto o verso il basso in dipendenza al mezzo in cui si trova. I movimenti che avvengono per mezzo della gravità del corpo e del mezzo sono naturali, violenti quelli che richiedono un altro agente.

I movimenti circolari non possono essere definiti naturali perché non ci si avvicina al centro come con la gravità, si possono definire "neutri". La terra infatti ne si avvicina ne si allontana dall'universo.

I moti neutri non sono comunque posti nel "de motu" in relazione con il movimento dei proiettili. Nel trattare questo argomento Galileo impiega la teoria dell'impetus, ovvero, l'impetus si intende impresso al proiettile come la forza necessaria a mantenerlo in moto.

In questo testo viene affrontato anche il problema della caduta dei gravi; per Aristotele la velocità di caduta di un corpo è proporzionale al rapporto tra la gravità del corpo e la gravità (o densità) del mezzo.

La nuova legge di caduta ha varie implicazioni importanti.

Innanzitutto non è più possibile sostenere come in Aristotele che il moto nel vuoto non può esistere perché dovrebbe essere istantaneo, avere velocità infinita.

Importante affermazione in questo testo di Galileo è che i corpi della stessa natura, quindi della stessa gravità, cadono nello stesso modo.

Nelle sue riflessioni su vari aspetti della caduta dei corpi Galileo rivela chiaramente di pensare che il movimento di caduta non è un moto accelerato, ma uniforme. L'esperienza sembra mostrarci che i corpi cadendo aumentano velocità, ma per Galileo questa accelerazione avviene solo in una fase finale del moto transitorio.

- **La legge della caduta dei gravi: Geometria o Sperimentalismo**

Nel 1595 è databile il suo primo interessamento alla teoria copernicana. La parte più rilevante di queste ricerche riguarda la discesa dei corpi lungo i piani inclinati; questa secondo Galileo avviene con velocità uniforme, e il valore di questa velocità è, a parità di altezza del piano inclinato, inversamente proporzionale alla lunghezza di questo: il tempo di discesa lungo ogni corda di un cerchio verticale verso il punto più basso rimane lo stesso, indipendentemente dalla lunghezza della corda e dalla sua inclinazione. Il tempo impiegato da un pendolo a compiere un quarto d'oscillazione è uguale al tempo impiegato da un corpo a cadere da un'altezza pari al doppio di quella del pendolo.

- Intorno al 1603 iniziò a prestare attenzione a quei movimenti a velocità crescente. Una volta stabilito che il movimento di caduta lungo i piani inclinati avviene con velocità variabile, Galileo cercò di stabilire la regola di aumento della velocità durante la caduta. Decise di misurare gli incrementi di velocità. Fece ruotare delle sfere lungo un piano inclinato e misurò le distanze percorse durante la caduta nel corso di intervalli di tempo uguali. L'uguaglianza degli intervalli era valutata sulla base di battute musicali. Notò la successione dei numeri dispari e scrisse "la legge dei numeri dispari". La precisione raggiunta da Galileo con questo metodo era notevole.
- Dopo questa formulò la legge dei quadrati o legge di caduta dei gravi. Si accorse che i numeri a sua disposizione suggerivano l'esistenza di una relazione quadratica tra altezze di caduta e tempi di relazione quadratica tra altezze di caduta e tempi e di una relazione quadratica inversa tra lunghezza di un pendolo e il suo periodo di oscillazione. La legge di caduta dei gravi ebbe un'origine piuttosto strumentale: essa scaturì nello sforzo di trovare una relazione matematica semplice tra dati numerici forniti da precise misurazioni.
- **La difficoltà di pensare il movimento accelerato**
Galileo si pose il problema di formulare una legge di variazione della velocità durante la caduta che fosse coerente con essa. Ma successivamente si accorse che l'ipotesi era insostenibile e nelle opere della maturità la dimostrò assurda. Tuttavia Galileo fu per parecchio tempo restio a prenderla in considerazione in quanto essa gli sembrava porre un problema concettuale fondamentale relativo all'inizio del moto di caduta. Galileo non può fare a meno di pensare un processo continuo, nel quale l'inizio del moto avviene con un trapasso graduale tra lo stato di quiete e lo stato di moto.
- **La battaglia per il copernicanesimo: la fase osservativa**
Ben presto divenne uno dei più celebri scienziati del suo tempo, grazie alle osservazioni astronomiche compiute con il cannocchiale (ne costruì esemplari sempre più precisi). Diede inizio alle sistemazioni astronomiche.

La via lattea e una congerie di stelle minuscole, la luna non è una sfera perfetta, attorno a giovè ruotano dei satelliti.

Mostrava sempre più l'esistenza di un movimento circolare celeste che non ha come centro la terra. A queste osservazioni ne aggiungerà altre, tra cui la più importante fu la scoperta che venere presenta fasi come la luna. Le sue osservazioni però non furono accettate rapidamente dalla comunità degli scienziati.

- **Il primo processo**

Varie polemiche. Galileo convinse che sarebbe stato possibile far accogliere ufficialmente il copernicanesimo dalle autorità religiose. Sosteneva che la bibbia non fosse un testo scientifico. Il suo intervento sul terreno religioso suscitò reazioni aspre.

- Nel marzo del 1616 la congregazione dell'indice dichiarò l'opinione secondo cui la terra non è al centro del mondo né immobile falsa sul terreno filosofico ed erronea in fide. Il libro del Foscarini fu proibito, mentre quello di Copernico era messo all'Indice in attesa di alcune correzioni di poco conto.

Quanto a Galileo, venne incaricato Bellarmio di ammonirlo a non sostenere o difendere le opinioni copernicane.

- **La battaglia per il copernicanesimo: la fase teorica**

Galileo rimase convinto di non essere stato colpito direttamente dagli strali dell'inquisizione.

Anche dopo l'incontro con il nuovo papa, nacque in lui la decisione di comporre un trattato cosmologico nel quale venissero discussi i grandi sistemi astrologici rivali.

- Nel 1632 fu pubblicato "Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano".

Era presente una spiegazione delle maree fondata sul movimento terrestre, che dal punto di vista odierno è assolutamente insostenibile.

Parte più rilevante era costituita dal principio di inerzia con il quale rese possibile, dal punto di vista fisico, la rotazione della terra. La concepibilità fisica del moto terrestre è il problema che sta al cuore di Galileo.

- Nel giovanile "de motu" aveva osservato che per muovere un mobile disposto su un piano parallelo all'orizzonte è sufficiente, in assenza di attriti, una forza comunque piccola; allora una volta messo in movimento, il mobile tenderà a continuare a muoversi. Non fu mai in grado di seguire una prova empirica, quindi rimase un principio astratto.

Un corpo che si muove a lungo su un piano inclinato in discesa accelera spontaneamente, mentre un corpo che, lanciato, si muove in salita, rallenta spontaneamente; dunque un corpo su un piano né declive né acclive evidentemente non potrà né accelerare né rallentare, cioè si muoverà spontaneamente in moto uniforme.

Galileo concepirà sempre la gravità in modo aristotelico, ovvero come una tendenza innata della materia a dirigersi verso il centro della terra.

Un movimento che non sia né acclive né declive sarà allora un moto durante il quale il mobile non si avvicina né si allontana dal centro della terra, cioè sarà un moto circolare lungo la circonferenza che ha come centro la terra.

Il principio di inerzia galileiano è dunque un principio di inerzia circolare, che pone nei corpi una tendenza a mantenere costantemente un movimento circolare attorno al centro della terra. Vale dunque un principio di relatività meccanica in base al quale si possono percepire solo i movimenti relativi, non quelli assoluti. Galileo non dimostra che la terra gira, ma sgombra il campo dalle obiezioni che avevano sempre impedito l'accettazione di quell'idea, e questo era storicamente un passo di enorme importanza.

- **La teoria dei moti accelerati**

Il trattato fu pubblicato nel 1638 con il titolo "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze". Si occupa del movimento dei proiettili e della resistenza dei materiali, della teoria dei movimenti accelerati e della legge di caduta dei gravi.

- Galileo qui definì il moto uniformemente accelerato come quel moto in cui la velocità cresce con il tempo e cercò una teoria razionale dei movimenti accelerati nella quale fosse possibile trovare un legame deduttivo tra legge $V=kt$ e la legge dei quadrati scoperta nel 1604.
- Si dedico allo studio allo studio di quello che poi sarà chiamato calcolo infinitesimale.

Galileo dedicò molti sforzi allo studio per le tecniche infinitesimali indispensabili ad una trattazione geometrica del moto naturale accelerato secondo la proporzione dello scorrere del tempo.

- La teoria secondo cui i vari momenti della velocità sono da intendersi, istante per istante, come uniformi, consente a Galileo di raggiungere un'altra conclusione importantissima: la dimostrazione che il percorso di un grave scagliato orizzontalmente è una parabola.

- **Dal perché al come: scelta consapevole o forzata?**

Netta separazione tra cinematica e dinamica. Eliminò ogni esplicito riferimento alle cause del moto naturale per limitarsi a descriverne i sintomi. È presente da ora il rifiuto di andare alla ricerca delle cause e dei fenomeni per concentrarsi sulle leggi che legano tra di loro i fenomeni stessi. Abbandona la ricerca del perché dei fenomeni per concentrarsi esclusivamente sul come essi avvengono.

Probabilmente galileo è giunto a questo atteggiamento tra mille contraddizioni, spinto dalla necessità, forzatamente indotto a non trattare la causa del moto per la propria incapacità a elaborare una teoria soddisfacente di essa, rimanendo poi insoddisfatto dal passo compiuto contro voglia.

Galileo non potè mai esprimersi con chiarezza sul rapporto esistente tra la forza (gravità) che causa la caduta e la legge di caduta dei gravi.

Dalla legge di caduta dei gravi si può arrivare a quello che poi sarà detto il secondo principio della dinamica. Il passaggio dalla legge di caduta dei gravi al secondo principio della dinamica fu compiuto da due allievi di Galileo:

Giambattista Baliani e Evangelista Torricelli.

- **Il metodo della scienza**

Galileo non scrisse mai un trattato sul metodo e le sue idee metodologiche si trovano sparse nei suoi lavori scientifici e tracciate con le sue idee scientifiche. Il maggiore è stato l'abbandono della ricerca delle cause ultime, per limitarsi alla descrizione dei nessi costanti tra fenomeni. Galileo sostiene che in questo studio di dettaglio, intensivo sulla natura, l'uomo può raggiungere una conoscenza perfetta, pari a quella divina.

Galileo fu il primo a proporsi di compiere alcune esperienze quantitative per controllare in maniera non episodica, bensì critica e metodica, le proprie idee, inaugurando così una nuova era per la scienza, quella della matematizzazione (anche) attraverso la misurazione.

Tutti gli storici, in ogni caso, concordano nel ritenere che con la faticosa elaborazione di una scienza matematizzata Galileo ha indicato alla scienza moderna la via maestra.

La filosofia della scienza: il meccanicismo

La teoria del moto locale diventò la teoria capace di fondare tutte le altre; l'universo fu concepito come una grande macchina. Un universo macchina perfettamente determinato in tutti i suoi comportamenti dalle leggi del moto, un universo perfettamente trasparente, comprensibile attraverso le medesime leggi.

- Cartesio contribuì con la sua distinzione tra *res cogitans* e *res extensa*, tra pensiero e materia. La scienza ha il compito di comprendere il mondo impiegando solo concetti di estensione (forma geometrica) e movimento. Il meccanicismo cartesiano rompeva dunque decisamente non solo con la tradizione aristotelica, ma anche con quella rinascimentale.

Il mondo fisico non è necessariamente simile al mondo sensibile, dunque la scienza non tratta di oggetti definiti dai sensi, non si fonda sulle qualità sensibili; la teoria parte dagli enti di ragione, oggetti del pensiero, per arrivare solo al termine di un percorso che può essere anche molto lungo a ricomporre il mondo dell'esperienza. La scienza si occupa prioritariamente delle qualità primarie della materia.

Il mondo cartesiano è una macchina composta da corpi privi di principi attivi, corpi inerti soggetti alla necessità fisica. L'origine del movimento è Dio che

all'atto della creazione ha conferito ai corpi il movimento. Questo movimento si conserva eternamente tramite il principio d'inerzia.

Il principio d'inerzia e quello della conservazione della quantità di moto sono sufficienti a erigere una immagine scientifica dell'universo capace di spiegare qualsiasi genere di fenomeni, da quelli astronomici a quelli biologici.

- La caratteristica della macchina è costituita dai moti vorticosi; implica che ogni porzione di spazio si debba pensare come riempita di materia, quindi, ogni movimento può avvenire solo se lo spazio lasciato libero da un corpo che si sposta è immediatamente occupato da un altro corpo. L'universo è il risultato di un numero infinito di vortici.

Un vortice particolarmente importante è quello formato dal sistema solare, che ha al proprio centro il sole.

La teoria dei vortici è applicata da Cartesio per la spiegazione dei principali fenomeni fisici.

Le scienze empiriche

Definibile anche come scienza dell'ottica. Keplero fu il primo ad occuparsi di problemi ottici. Keplero divide l'oggetto visibile in un numero infinito di punti, ognuno dei quali è concepito come una sorgente di raggi luminosi che si propagano lungo linee rette. Lo studio dell'ottica diviene così lo studio geometrico del percorso dei raggi emessi dalle sorgenti puntiformi.

- Cartesio interpreta la luce come pressione prodotta dal moto vorticoso. I colori erano ritenuti qualità reale dei corpi, rese visibili dalla luce, ma distinti da essa. I colori sono sensazioni causate dalla rotazione delle piccolissime sfere che formano la materia sottile. Abolisce la distinzione tra colori reali e apparenti e rende lo studio dei colori una parte della scienza della luce.
- Newton invece sostiene che i mezzi trasparenti non modificano i raggi luminosi, conferendo la loro proprietà di suscitare sensazioni di colori differenti, ma si limitano a separare i vari raggi colorati, intrinsecamente diversi tra loro.

Si occupò a fondo di svariati aspetti del mondo dei colori, in particolare studiando le apparenze colorate che si manifestano nelle cosiddette "lamine sottili", riuscendo anche in questi casi ad elaborare una trattazione matematica fondata sull'esperimento.

Inoltre elaborò una complessa teoria nella quale interveniva l'etere.

Successivamente smise di credere nell'esistenza di un etere e nel suo trattato sull'ottica impiegò solo i concetti corpuscolari.

La meccanica, scienza regina

Newton riuscì a comporre in una sintesi di grande potenza due tradizioni scientifiche che erano compresenti ma non armonizzate nel seicento: la tradizione che cercava nella scienza innanzi tutto l'espressione esatta, matematicizzata dei fenomeni e l'astronomia matematica. In Newton l'espressione matematica venne a coincidere con la spiegazione; si venne a colmare la frattura tra scienza strumentale e scienza esplicativa. Per conseguire questo risultato di enorme valore Newton dovette arricchire tanto la filosofia della natura del meccanicismo, quanto il linguaggio matematico, elaborando il calcolo infinitesimale.

- Nella prima parte della sua attività aderì alle usuali spiegazioni meccaniciste. Egli espose una filosofia della natura basata sul concetto di etere composto da particelle minuscole e priva del concetto di forza.

La più celebre delle forze a distanza è naturalmente la forza di gravitazione. Per Newton le forze sono la fonte di attività del mondo "sono principi attivi" la cui causa diretta è Dio. L'impiego del concetto di forza era una operazione necessaria al fine di conciliare la meccanica matematicizzata di Galileo con la filosofia meccanicista di Cartesio.

In questi anni Newton studiò il moto circolare. L'analisi del moto circolare gli permise di trovare un'espressione per la forza centrifuga; riuscendo a dimostrare che tra la forza centrifuga e la forza di gravità esiste un rapporto 1/4000. Le forze centrifughe agenti sui cinque pianeti sono inversamente proporzionali al quadrato delle loro distanze dal sole. Questo dimostra che un'unica forza attiva, posta nel sole, era sufficiente a mantenere i pianeti nelle loro orbite.

Questi risultati contenevano gli elementi quantitativi fondamentali della teoria della gravitazione universale: esiste un'unica forza, che diminuisce con il quadrato delle distanze, la quale spiega la caduta dei corpi pesanti e i movimenti celesti.

