Arriviamo ai movimenti della terra i movimenti della terra che tradizionalmente vengono divisi in movimento di traslazione cioè orbita della terra attorno al sole e movimento di rotazione; parlando dell’orbita della terra vi devo fare un’introduzione sull’ orbita dei pineti in generale perché la terra è un pianeta come tutti gli altri; voi sapete che le leggi che governano il moto dei pianeti sono state scoperte da Keplero in un modo puramente empirico cioè Keplero semplicemente aveva a disposizione delle osservazioni angolari, quindi astrometriche, di posizione di pianeti del sistema solare, soprattutto di Marte fatti dal suo maestro Tycho Brahe che erano molto precise e ha cercato, lui descrive chiaramente noi suoi libri: “io ho cercato forme “ si sapeva che le orbite dei pianeti sono quasi circolari ma non precisamente circolari quindi lui dice : “ho cercato varie forme ovali finché ho trovato quella che andava bene” quindi lui le ha trovate da un punto di vista puramente sperimentale e geometrico senza nessuna interpretazione fisica. Quello che ha trovato sono le famose tre leggi di Keplero:

La prima legge è che l’orbita di un pianeta è un’ellissi cioè una figura piana cioè avviene tutta in un piano, cosa che a priori non è così banale perché potrebbe anche fare un ghirigoro che occupa un certo volume e non limitarsi a un piano mentre invece si limita ad un piano. E in questo piano descrive un’ellisse che è un certo tipo di figura descrivibile da un ‘equazione precisa di cui il sole non occupa il centro ma uno dei fuochi e l’ellisse è geometricamente descritta da due parametri cioè il semiasse maggiore (a) che corrisponderebbe al diametro maggiore se si trattasse di un cerchio cioè l’ellisse molte volte viene descritto come un cerchio schiacciato in cui le due dimensioni, la distanza dei punti dell’ellisse dal centro non sono tutte uguali ma variano da un minimo che è il semiasse minore a un massimo che è il semiasse maggiore e l’altro parametro è l’eccentricità (e) che invece dà una misura di quanto il fuoco è spostato rispetto al centro e questo è collegato a quanto l’ellisse è schiacciata.

Più l’eccentricità aumenta e più l’ellisse è schiacciata e più il fuoco si discosta dal centro.

Il caso limito è e= 0 l’ellisse si riduce a un cerchio.

La secondo legge di Keplero descrive come il pianeta descrive le ellissi; cioè va bene che il pianeta si muove su un’ellisse ma con quale legge oraria?

Keplero ha scoperto che il moto del pianeta non è a velocità costante ma accelera quando il pianeta si trova più vicino al sole e decelera quando si trova più lontano e questa variazione di velocità angolare è fatta in modo che l’area che il raggio vettore, cioè la congiungente sole-pianeta, spazza in un certo tempo rimane costante.

Cioè l’area spazzata in un certo tempo è uguale in qualsiasi punto dell’ellisse. Quanto spiega perché quando sono più vicino il pianeta è più veloce perché nello stesso tempo deve percorrere la stessa area e siccome il raggio è minore l’angolo percorso deve essere maggiore.

La terza legge regola come i pianeti su orbite diverse, nel caso particolare di Keplero l’unico esempio che aveva erano i diversi pianeti del sistema solare, in quanto tempo percorrono una rivoluzione completa; facendo un elenco dei pianeti conosciuti che all’epoca di Keplero di fermava (qua ) a saturno si vede che chiaramente all’aumento del raggio orbitale (dovrei dire il semiasse maggiore dell’orbita ) corrisponde un aumento del periodo orbitale ossia del periodo di rivoluzione che però vedete non è direttamente proporzionale cioè la terra diciamo per definizione ha un raggio orbitale di 1 UA che percorre in un 1 anno ; Giove che ha un raggio orbitale di 5 UA non impegna cinque anni ma 11 : cioè c’è un aumento ma è più che proporzionale ; la legge che regola la corrispondenza tra queste due quantità è stata espressa da Keplero in questo modo cioè è una legge di potenza: il quadrato del periodo di rivoluzione sono proporzionali ai cubi del semiasse maggiore (distanze dal sole).

Perché i pianeti si muovono così? Questa è stata una scoperta però una scoperta teorica questa volta non sperimentale di estrema importanza nell’evoluzione della scienza ed è dovuta, in qualche modo è la nascita della meccanica e della dinamica come scienza, è molto legata alla comprensione di questo problema ed è dovuta essenzialmente al contributo di molti ma principalmente di due grandi scienziati Galileo Galilei che ha scoperto qual è la legge fondamentale della dinamica e Newton che ha scoperto quale è la legge di gravitazione universale; l’unione di queste due leggi fondamentali con in più un mucchio di matematica che newton e Leibnitz hanno dovuto inventare appositamente per poter risolvere questo problema danno una spiegazione matematica del perché i pianeti seguono le tre leggi di Keplero.

In particolare i fondamenti della dinamica sono stati posti da Galileo il quale ha scoperto che il movimento di un corpo avviene in modo che la forza applicata al corpo provoca una variazionale un’accelerazione cioè una variazione della velocità; a noi sembra un fatto banale ma all’epoca di galileo non era affatto così. La concezione comune è che la forza produce una velocità non una variazione di velocità; se io ho un oggetto, se non gli applico nessuna forza sta fermo se gli applica una forza si muovo, se non gliela applico più sta di nuovo fermo; quindi quello che si pensava la fisica medievale aristotelica è che la forza è proporzionale alla velocità; galileo ha capito che questo comportamento degli oggetti comuni è solo un regime limite degli oggetti in cui il movimento è determinato principalmente dalle forze d’attrito. Se noi eleminiamo l’attrito otteniamo un comportamento completamente diverso che è quello diciamo che non in un esempio di tutti i giorni possiamo vedere una pallina che rotola se io non tocco la pallina continua a muoversi di moto rettilineo uniforme quello che ottengo applicando una forza non è di determinare una velocità ma determinare un cambiamento di velocità e quindi la legge fondamentale della dinamica è che la forza è proporzionale all’accelerazione non alla velocità dove l’accelerazione è definita in termini rigorosi come la variazioni di velocità nell’unità di tempo e una conseguenza di questo principio è che la legge di inerzia: se io ho un oggetto che è libero da qualsiasi forza potrebbe rimanere fermo ma potrebbe muoversi di un moto rettilineo uniforme. La velocità inziale di un oggetto quando è libero da forze esterne rimane costante nel tempo come era all’inizio e questo ha un effetto importantissimo sulla comprensione del moto dei pianeti che anche Keplero ha cercato di capire perché i pianeti si muovevano così ma partendo dalla sua idea aristotelica scolastica che la velocità è prodotta da una forza , lui cercava una forza che spingesse il pianeta a lungo la sua orbita ellittica e ovviamente è una forza un po’ strana mentre quello che immediatamente si capisce dai principi della dinamica che ha trovato galileo è che il pianeta per percorrere un’orbita ellittica ha bisogno di una forza che devi la sua velocità verso il sole perché il pianeta si muoverebbe di moto rettilineo uniforme e la forza deve essere tale da deviare la sua velocità in direzione del sole e quindi Galileo ha posto le basi della comprensione di newton che la forza che ci vuole per tenere un pianeta su un orbita è una forza che attrae il pianeta verso il sole e newton ha quantificato questa forza con la sua celebre legge di gravitazione universale: la forza è proporzionale alle due masse che si attirano diretta lungo la congiungente e inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

Purtroppo non posso farvi vedere come questi due principi applicati e sviluppati, studiati con delle tecniche matematiche che ai tempi di galileo non esistevano affatto - sono state inventate da Leibnitz e newton appositamente per studiare questo problema e si tratta della nascita del calcolo differenziale essenzialmente il quello di cui ho bisogno è in termini matematici si dice integrazione di un’equazione differenziale; in tutti i punti dello spazio in cui il pianeta può trovarsi so, perché conosco la posizione del sole, come la sua velocità viene cambiata dall’attrazione del sole e ho il problema matematico allora di trovare quella traiettoria che è determinata da questa serie continua di cambiamenti di velocità di cui so la quantità e la direzione prodotti dal sole; questo è un problema solamente matematico tranne che è di un tipo di matematica che adesso si studia ai licei e università (quindi non è banale neppure oggi ) allora era astronomica, galileo non aveva per nulla queste basi e non poteva averle, faceva ancora delle dimostrazione matematiche usando la geometria, usando i triangoli perché erano gli strumenti che c’erano alla sua epoca.

Newton ha trovato il modo di risolvere matematicamente questo problema e ha dimostrato che se io ho una legge di forza di questo tipo la conseguenza matematica esatta è che il pianeta si muove seguendo le leggi di Keplero è questo è stato un trionfo per noi inimmaginabile del metodo scientifico perché da una parte ha sancito l’università, almeno all’interno del sistema solare, di questa legge che era stata dedotta da osservazioni sia sulla terra sia sull’orbita della luna dall’altra ha fatto vedere come l’unione di questa comprensione fisica che poi si traduce in una legge molto semplice da formulare che però produce delle conseguenze, genera un problema che matematicamente è molto complicato e l’unione di tecniche matematiche avanzate con queste semplici leggi produce una spiegazione molto esatta di un fenomeno che prima era incomprensibile. è stato il grande trionfo della meccanica nel settecento essenzialmente, quello che io credo abbia molto influenzato anche la mentalità illuministica; l’età dei lumi nasce dall’avere la filosofia del “possiamo comprendere tutto il mondo” nasce dall’ottimismo che è stato generato da questi successi . Allora in quali casi è valida la legge di Keplero? Nel caso i cui vi dicevo il sole attira il pianeta con questa legge di forza e questa è l’unica forza che agisce sul pianeta e quindi in particolare devo trascurare l’attrazione reciproca tra i vari pianeti perché la legge di gravitazione universale di Newton prevede che tutti corpi dotati di massa si attirino tra di loro anche questo mouse attira la mia mano tranne che la massa del mouse è estremamente più piccola di quella della terra e quindi questa attrazione è così piccola che non riesco neanche a misurarla; i pianeti sono molto più piccoli del sole, Giove che è il più grande ha una massa di un millesimo di quella del sole, quindi in prima approssimazione le leggi di Keplero valgono; un millesimo però non è zero. Le osservazioni astronomiche sono molto precise e già Keplero si era accorto che c’erano piccole deviazioni dalle sue leggi e queste sono spiegabili tenendo conto del fatto che l’attrazione su un pianeta non è esercitata solo dal sole ma anche da tutti gli altri pianeti che ci girando intorno; allora se entro in un problema che si chiama degli n-corpi in gergo tecnico la soluzione diventa estremamente più difficile; ancor oggi stiamo studiando questo problema e quello che succede da un punto di vista fenomenologico è che le orbite dei pianeti non son più perfettamente ellittiche ma sono ellissi in prima approssimazione oppure sono ellissi i cui paramenti cambiano lentamente nel corso del tempo e in particolare tutti gli elementi orbitali però per esempio mentre un’ellissi è una curva chiusa, un’orbita perturbata ha una precessione degli absidi cioè il semiasse maggiore dell’orbita cambia posizione da una rivoluzione all’altra; se volete un’animazione quello che succede è questa cosa qui; il piano orbitale ruota o meglio la linea che congiunge afelio e perielio ruota nel piano orbitale; un altro effetto di cui non ho l’animazione ma è simile è la precessione della linea dei nodi cioè anche il piano orbitale non è fisso nello spazio ma ruoterebbe in un sistema di riferimento fisso nello spazio. Analogamente tutti gli elementi orbitali dei pianeti cambiano lentamente nel corso del tempo per effetto delle perturbazioni; questa per esempio è l’eccentricità di nettuno : variazione di eccentricità dovuta all’attrazione degli altri pianeti principale; lo stesso succede per l’inclinazione dell’orbita sul piano fondamentale sul piano equatoriale terrestre che è usato come piano di riferimento. Tutte queste perturbazioni possono essere calcolate , in particolare è abbastanza facile calcolarle con metodi numerici; quello che è più difficile è trovare delle teorie matematiche esprimibili in forme così semplici come le leggi di Keplero anzi direi che questo è stato dimostrato che è impossibile; i moti di questo genere si dice che non sono integrabili: non sono rappresentabili con funzioni semplici purtroppo questo è un argomento molto complesso io posso solo accennarvi a questo fatto perché per completezza vi devo dire che le orbite sono sì kepleriane ma in prima approssimazione ma la realtà è molto più complessa di così.