Raccontare e toccare l'astronomia

L'astronomia è una conoscenza scientifica con una base fortemente immateriale. Pianeti e stelle non si toccano, anche se da quasi 70 anni l'uomo ha iniziato la conquista dello spazio. Come tutte le scienze, l'astronomia si è avvalsa di strumenti di misura: le misure di angoli, distanze e tempo sono divenute nei secoli più accurati e precisi.

La natura stessa dell'oggetto di studio (il cosmo, più o meno prossimo alla Terra) ha da sempre costretto gli astronomi ad un livello di astrazione più spinto rispetto alle altre scienze. Ne era consapevole Dante che nel Convivio motiva in tal modo l'associazione dell'astronomia al cielo più lontano, quello di Saturno.

Per contro, molti degli oggetti studiati dell'astronomia sono sotto gli occhi di tutti. In autonomia, ciascuno può fare esperienza del Sole, della Luna, delle stelle, dello scorrere del tempo, delle stagioni, etc. Per questo, la civiltà preindustriale, urbana e non, ebbe una conoscenza non superficiale dell'astronomia.

Per millenni la scansione del tempo umano fu basata sui fenomeni celesti così come le pratiche agricole e artigianali. Gli astri suscitarono anche potenti suggestioni immaginarie e magiche (mitologia, medicina tradizionale, superstizioni, racconti, astrologia).

Il percorso espositivo nasce con l'idea di rendere più concreta e completa l'esperienza che il visitatore ha con la partecipazione allo spettacolo interattivo in cupola, dove l'azione concorrente di immagini (in uno spazio che simula il 3D), movimenti, parole, silenzi e musica puntano a muovere emozioni.

Anche in questo caso, puntiamo a ugualmente a incuriosire, interessare, appassionare ma muovendo le mani, le gambe e il cervello!

1. Telescopi
2. Modelli di veicoli spaziali
3. Modelli del Sole e dei pianeti
4. Costellazioni
5. Proverbi, modi di dire, racconti
6. Misura del tempo: orologi e meridiane
7. Misura degli angoli
8. Modelli dell'Universo vicino alla Terra
9. Fisica e astronomia nei libri del 1800
10. Strumenti per orientarsi della fine del 1800
11. Postazioni interattive per simulazioni
12. Minerali e rocce
13. Apparati per sperimentare la natura della luce
14. Cupola per gli spettacoli interattivi

ideazione percorso espositivo
Pietro Di Lorenzo

testi
Carla Bassarello (CB), Pietro Di Lorenzo (PDL), Luigi Antonio Smaldone (LAS), Luigi Palmieri (LP)

grafica
Luca Donadio

realizzazione modelli e copie degli strumenti
Dario Alifano, Alfredo Fontanella, Sossio Del Prete, Antimo Natale

realizzazione apparati
Pietro Di Lorenzo, Luigi Antonio Smaldone, Luigi Palmieri

allestimento
Carla Bassarello, Pietro Di Lorenzo, Valerio Marotta, Luigi Antonio Smaldone, Luigi Palmieri

percorso allestito con i fondi di gestione dell'Associazione Temporanea di Scopo "Planetario di Caserta" costituita tra Istituto Tecnico Statale "Buonarroti" Caserta (capofila), Istituto Comprensivo "Vanvitelli" Caserta, Istituto Comprensivo "Ruggiero – 3 Circolo" Caserta

inaugurazione 19 gennaio 2019

Planetario di Caserta

Raccogliere più luce: i telescopi

La luminosità apparente dei corpi celesti diminuisce col quadrato della distanza.

La funzione principale di un **telescopio astronomico** è raccogliere la luce e formare una immagine della sorgente il più possibile priva di errori (aberrazioni).

L'**obiettivo** raccoglie la luce e la concentra nel suo fuoco. La luminosità dell'immagine di un oggetto celeste cresce col quadrato del diametro dell'obiettivo perché è la superficie dell'obiettivo a raccogliere la luce.

L**'oculare** rende disponibile l'immagine formata dall'obiettivo grazie al sistema mobile di messa a fuoco.

I telescopi si dividono in rifrattori e riflettori. Un **telescopio rifrattore** ha per obiettivo un sistema di lenti che rifrangono la luce. Un **telescopio riflettore** ha per obiettivo un insieme di specchi e sfrutta il fenomeno della riflessione.

Il **campo visivo** è la porzione di cielo visibile in un apparato ottico.

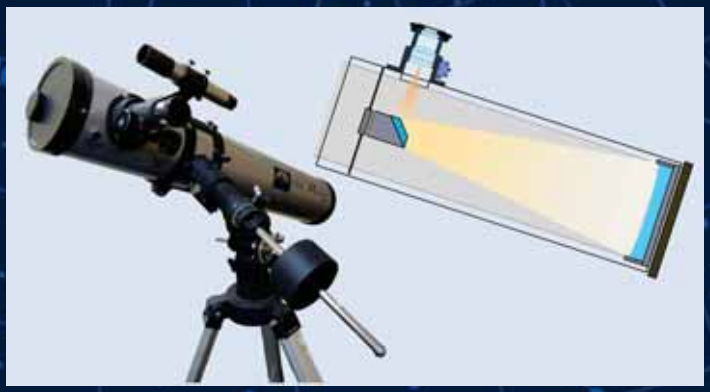
L'**ingrandimento** è il rapporto tra l'immagine dell'oggetto mediante l'apparato ottico e la sua immagine ad occhio nudo. I telescopi astronomici hanno grande ingrandimento e quindi campo di vista molto limitato: ciò rende difficile la mira all'oggetto di interesse.

Il **telescopio cercatore** rimedia perché ha asse nella stessa direzione di quello del telescopio e grande campo visivo.

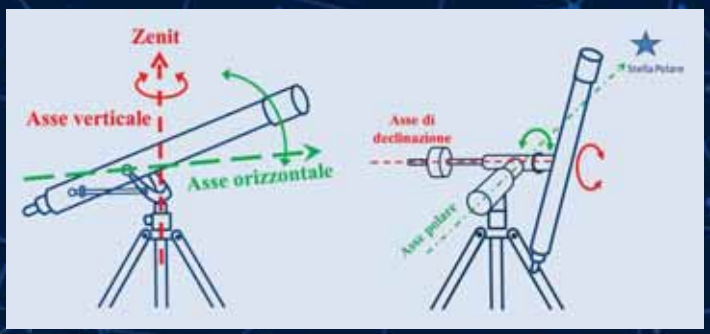
La sfera celeste ha un moto apparente di rotazione. Per restare puntati sull'oggetto i telescopi astronomici sono dotati di **montature**.

L'universo a distanze maggiori di 10 milioni di anni luce è studiato grazie a telescopi che rilevano componenti non visibili della luce: telescopi a raggi gamma, a raggi X, a ultravioletto, a infrarosso, a microonde, radiotelescopi. (LAS)

Telescopio astronomico rifrattore e suo schema ottico



Telescopio astronomico riflettore e suo schema ottico



A sinistra: telescopio con montatura altazimutale: un asse è orizzontale e l'altro è verticale. I due assi sono facilmente individuabili ma c'è bisogno di due movimenti per poter inseguire il moto apparente delle stelle. A destra: telescopio in montatura equatoriale: l'asse polare è diretto parallelamente all'asse terrestre (punta alla Stella Polare) e quindi resta fisso, l'asse di declinazione è orientato sull'astro. Per mantenere puntato l'astro, basta ruotare il telescopio attorno all'asse polare con la stessa velocità di rotazione della Terra

Telescopio astronomico rifrattore Dollond (London, 1800-1820), Reggia di Caserta, appartamento storico del 1700

Stelle, pianeti, pianeti nani, lune, asteroidi, comete

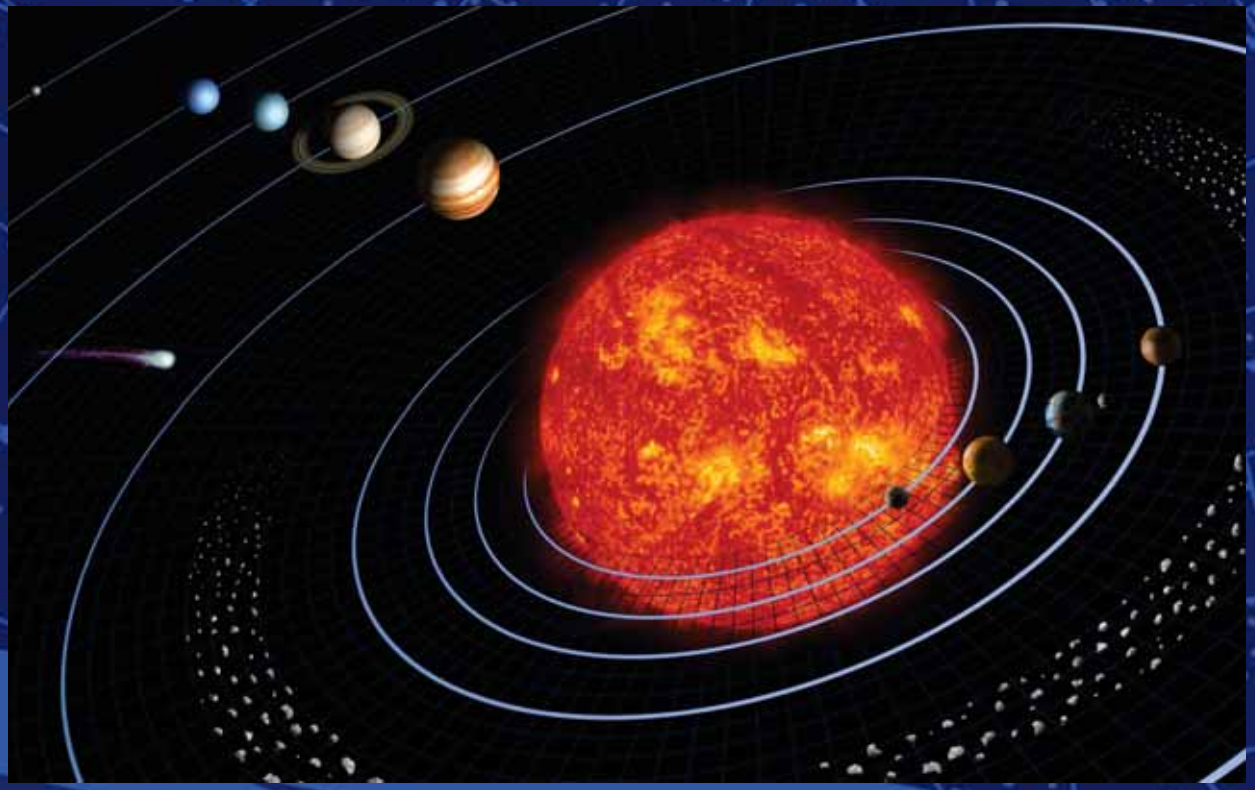
Una **stella** è un corpo celeste di forma quasi sferica che produce energia e particelle per fusione nucleare e diffonde energia sotto forma di radiazione elettromagnetica e di calore.

E' formata in prevalenza da idrogeno ed elio. In ordine di temperatura crescente la sequenza è: stelle rosse, arancioni, gialle, bianche e blu.

Un **pianeta** è un corpo sferico in prima approssimazione che si muove su un'orbita stabile attorno a una stella e che ha pulito lo spazio attorno a sé dal punto di vista gravitazionale, cioè non ha corpi di massa comparabile nelle vicinanze. Il pianeta può essere roccioso o gassoso.

Un **satellite** è un corpo (sferico o non) che gira su un'orbita stabile attorno a un pianeta cui è legato dalla forza di attrazione gravitazione.

Un **pianeta nano** orbita attorno a una stella (su orbita abbastanza eccentrica), ha massa sufficiente per avere forma sferica. Non ha massa sufficiente per "pulire" (in senso gravitazionale) la propria fascia orbitale da corpi vicini di massa comparabile.



Un **asteroide** è un corpo roccioso che si muove su un'orbita piuttosto instabile. Ha una forma irregolare perché la sua piccola massa è stata disturbata dall'attrazione gravitazionale molto intensa dei corpi vicini.

Gli asteroidi sono in gran parte concentrati tra l'orbita di Marte e quella di Giove e nella **fascia di Kuiper** (tra Nettuno e oltre Plutone, fino a una distanza di 50 volte la distanza Sole-Terra). Sono ciò che è avanzato nella costruzione del Sistema Solare.

Un **cometa** è un piccolo corpo celeste, composto prevalentemente di ghiaccio, rocce (con metalli) e gas. Quando la cometa è vicina alla stella, polvere e gas generano un'atmosfera rarefatta intorno al nucleo detta chioma.

Il moto della cometa provoca l'allungamento della **chioma** (coda) nella direzione del moto in verso opposto; agendo sulle particelle cariche della chioma il vento solare forma una coda che è in direzione del Sole ma in verso opposto. A volte l'orbita è chiusa e le comete ritornano più volte vicino alla stella. (CB)

Volare esplorando lo spazio: una sfida per il primato

Per ottenere un volo spaziale il veicolo deve vincere l'attrazione gravitazionale ed avere energia cinetica sufficiente (cioè velocità) per entrare in orbita. Poiché l'energia necessaria è direttamente proporzionale alla massa, la spinta iniziale è data da razzi vettori molto pesanti che trasportano il veicolo spaziale vero e gli consentono di raggiungere la velocità di fuga.

1957, ottobre: primo lancio di un satellite artificiale, Sputnik 1. Inizia la corsa allo spazio.

1957, novembre: primo essere vivente nello spazio, la cagnetta Laika nello Sputnik 2.

1959, settembre: la sonda Luna 2 impatta con la superficie lunare.

1959, ottobre: la sonda Luna 3 fotografa la faccia nascosta della Luna e trasmette a Terra le immagini.

1961: primo uomo nello spazio, Yuri Gagarin a bordo della navetta Vostok 1.

1966: Luna 9 esegue il primo atterraggio morbido sulla Luna e Luna 10 fa la prima orbita intorno alla Luna.

1966 – 1982: missione delle sonde Venera. Venera 3 (1966) è la prima sonda ad atterrare su un altro pianeta.

1968: prima missione del Saturn V per portare in orbita lunare Apollo 8 con equipaggio umano. Il Saturn V è un razzo multistadio a propellente liquido, il più grande e potente veicolo mai costruito.

1969: Armstrong e Aldrin primi due uomini sulla Luna con Apollo 11, lanciato da Saturn V.

1971, aprile: prima stazione spaziale orbitante Saljut 1, agganciata parzialmente da Sojuz 10 e pienamente da Sojuz 11 con 3 astronauti che vi rimasero 23 giorni. Aprì la strada alla permanenza prolungata dell'uomo nello spazio poi continuata con la sovietica Mir (1986-2001) e con la Stazione Spaziale Orbitante (ISS, 1998 – attuale).

1971, luglio: Apollo 15 sulla Luna grazie a Saturn V: allunaggio con due astronauti e Rover lunare.

1973: lancio della sonda Mariner 10 che ebbe diversi primati: esplorazione di due pianeti (Venere e Mercurio), utilizzo dell'effetto fionda (spinta gravitazionale), uso della pressione solare a scopo propulsivo, prima sonda per Mercurio.

1975: prima missione astronautica congiunta Apollo - Sojuz tra Stati Uniti d'America e Unione Sovietica, pose sostanzialmente fine corsa allo spazio avviando una cooperazione stabile.

1977: lancio delle sonde Voyager 1 e 2 per esplorare Giove e Saturno e alcune lune. La Voyager 1 si muove ancor oggi nello spazio grazie a piccoli propulsori che consentono di orientare la sua antenna verso la Terra per comunicare con essa. E' una delle cinque sonde uscite dal Sistema Solare.

1981-2011: lanci verticali dello Space Shuttle, primo veicolo in grado di rientrare nell'atmosfera terrestre come un aereo. Svolse servizio "navetta" per la Stazione Spaziale Internazionale.

1990: lancio del telescopio spaziale Hubble attualmente operativo. Hubble riprende immagini ad alta risoluzione nel campo del visibile, nel vicino ultravioletto e nel vicino infrarosso.

1995: lancio di Galileo, prima sonda in orbita attorno a Giove; fu fatta entrare nell'atmosfera per non contaminare di batteri lo spazio.

2000: primo equipaggio stabile nella Stazione Spaziale Internazionale.

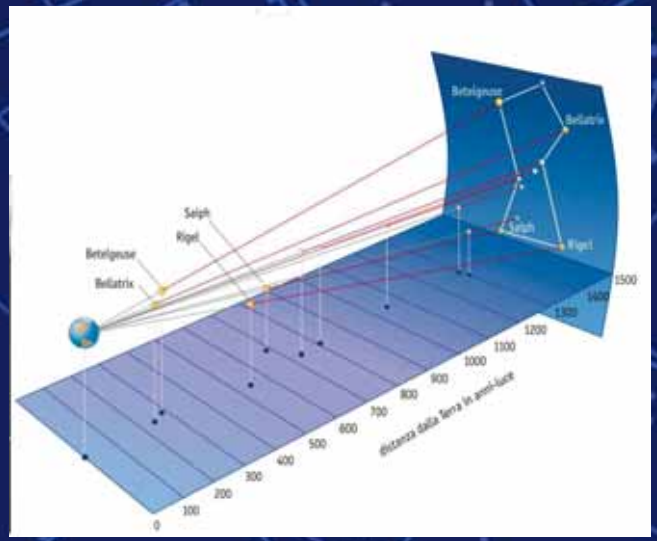
2001: la sonda NEAR Shoemaker compie il primo atterraggio morbido su un asteroide, 433 Eros.

2004: primo volo orbitale intorno a Saturno (Cassini Huygens) e prima discesa controllata su un satellite diverso dalla Luna (Titano).

2014: Rosetta/Philae realizzano la prima discesa controllata su una cometa (67P/Churyumov-Gerasimenko). (CB)

Planetario di Caserta

Gruppi naturali e immaginari di stelle: costellazioni



Le **costellazioni** sono raggruppamenti ottenuti unendo arbitrariamente le stelle visibili a occhio nudo con linee immaginarie per formare figure.

Sono state per millenni uno strumento efficace per **orientarsi sulla Terra** osservando il cielo per ogni civiltà.

Osservando una costellazione da punti diversi dello spazio la sua forma appare radicalmente differente rispetto a quella che si vede da Terra. Infatti, le stelle di una costellazione non sono tra loro effettivamente vicine come sembra.

Galassie e **ammassi** (globulari e aperti) sono gruppi naturali di stelle vicine.

Oggi si classificano **88 costellazioni**. **Claudio Tolomeo** (2° secolo d.C.) ne citò 48 nel suo **Almagesto**.

Le 12 **costellazioni dello zodiaco** furono definite dai Caldei: sono le costellazioni poste lungo l'eclittica, il cammino apparente del Sole in cielo.

Ogni civiltà del passato ha voluto riconoscere nel cielo oggetti, animali, personaggi mitologici e delle proprie tradizioni culturali: nomi e figure sono cambiate nei secoli.

Nel 1627 il gesuita tedesco **Julius Schiller** tentò invano di "cristianizzare" il cielo, fino ad allora rimasto pagano. Nel suo atlante *Coelum Stellatum Christianum* propose di sostituire gli apostoli, i patriarchi biblici, i profeti e i santi ai personaggi mitologici delle costellazioni.

Gli **asterismi** sono raggruppamenti arbitrari secondo figure geometriche regolari e semplici di stelle visibili a occhio nudo. Le stelle di un asterismo possono appartenere a costellazioni diverse. (CB)

Globo celeste con le costellazioni , particolare di Atlante Farnese, 2° sec. d.C., Napoli, Museo Archeologico Nazionale

Coelum Stellatum Christianum di Johannes Schiller, 1627, in Andreas Cellarius, *Harmonia macrocosmica*, 1661

Asterismo del triangolo invernale che comprende le stelle principali di tre diverse costellazioni: Sirio (Cane Maggiore), Procione (Cane Minore), Betelgeuse (Orione)

Planetario di Caserta

Il tempo delle stelle, della Terra, dell'Uomo

A sinsitra: probabile clessidra di popolazioni russe dell'età del Bronzo (14°- 15° secolo a. C.) ritrovata a Staropetrovsky, oggi in Donetsk Regional Museum; a destra: clessidra del tempio di Karnak (1500 a. C.), oggi in Cairo, Museo Nazionale Egizio

Clessidra medievale, particolare del dipinto di Colantonio, San Girolamo nello studio, Napoli, 1450 circa) Napoli, Museo di Capodimonte

Il **tempo** è la grandezza fisica che ha a che fare con il moto dei corpi o con la loro trasformazione.

Il concetto di tempo è cruciale nel pensiero e nella vita umana. Per millenni e fino al 1967 la misura del tempo è stata riferita al moto del Sole, della Luna e delle stelle.

Infatti, il **secondo** (unità di misura del tempo) era definito come frazione dell'anno tropico (durata della rivoluzione completa della Terra rispetto al Sole).

A partire dal 10.000 a. C. le civiltà del Medio e Vicino Oriente compresero la struttura ciclica dell'**anno** e la sua suddivisione in quattro periodi climatici dovuti alle **stagioni**.

Nacque il **calendario** e iniziò la rivoluzione sociale, culturale e tecnologica che trasformò gli uomini da cacciatori/raccoglitori nomadi in allevatori/agricoltori stanziali. Capirono anche che il Sole cambiava posizione rispetto alle stelle nel corso dell'anno (mese).

Prima ancora fu percepito ed elaborato mentalmente il **ciclo circadiano**, l'alternanza di **notte** (buio) e **dì** (luce) che forma il giorno.

E si scoprì che tra due fasi principali della Luna (ad esempio: primo quarto e piena) passano circa sette giorni: la **settimana**.

Per misurare durate più brevi delle ore del giorno fu utilizzata la **clessidra**. La tipologia medievale è attribuita all'invenzione di Liutprando, monaco a Chartres nell'8° secolo.

Gli orologi **meccanici** furono perfezionati dagli Arabi; si diffusero in Occidente dal 1100 circa. Clessidre ed orologi furono strumenti di lusso.

Chi non poteva averli misurava il tempo con la durata della recita delle **preghiere** più note (Ave Maria, Pater noster, Gloria Patri) e dei salmi. (PDL)

Chioggia, Sant'Andrea, campanile, quadrante dell'orologio, 1386 circa, ritenuto il più antico al mondo tra quelli originali sopravvissuti

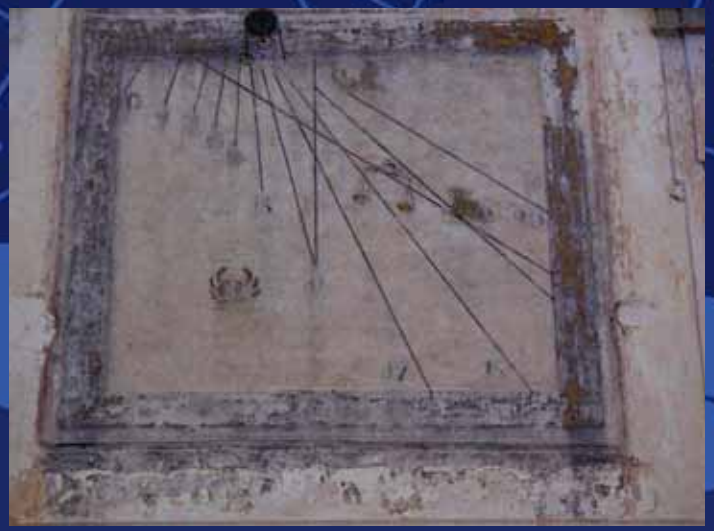
Ave Maria, gratia plena,
Dominus tecum,
benedicta tu in mulieribus,
et benedictus fructus ventris tui, Iesus.
Sancta Maria, mater Dei,
ora pro nobis peccatoribus, nunc et in hora
mortis nostrae.
Amen.

La recita delle preghiere in latino (la recita in italiano è stata autorizzata solo dal 1965) costituiva lo strumento di misura del tempo per chi non poteva permettersi costosi orologi o clessidre.

Planetario di Caserta

Misurare il tempo con la luce e l'ombra del Sole

Orologio solare egizio orizzontale, 1500 a.C. circa, Berlin, Staatliche Museum



Orologio solare verticale a ore italiane, Calvi Risorta, palazzo Zona, fine 1700

L'**orologio solare** è lo strumento che sfrutta il Sole (quando è alto sull'orizzonte) per misurare le frazioni di **giorno**, dette ore (**24 ore in giorno**).

La **meridiana** è lo strumento che segna il punto di **culminazione** (cioè più alto) del Sole (mezzogiorno, *meridies* in latino) per ogni giorno dell'anno. Il percorso disegnato dall'ombra di una meridiana per tutto l'anno si chiama **analemma.**

Alcuni esemplari sono sia orologi solari sia meridiane.

Orologi solari e meridiane proiettano l'ombra formata dalla luce del Sole su una superficie mediante uno **stilo** o **gnomone**. Altra tipologia (più rara) è quella che proietta uno stretto fascio di luce solare schermato parzialmente da un **foro gnomonico**.

La superficie che raccoglie l'ombra o la luce è detta **quadrante**; può essere orizzontale, verticale, inclinata, piana o curva.

Tra gli orologi solari il più antico è egizio (1300 a. C. circa). Nel 293 a.C. l'orologio solare entrò nel mondo latino grazie al console Lucius Papirius Cursor che collocò una meridiana presa ai Sanniti presso il tempo di Quirino a Roma.

Gli orologi solari hanno **linee orarie** di geometria diversa a seconda del sistema di misura adottato per le ore del giorno.

Le **ore canoniche o temporarie** prevedevano sempre 12 ore di luce (dì) e 12 di buio. Poiché la durata del dì nel corso dell'anno varia (nell'emisfero boreale) da un minimo (solstizio d'inverno) ad un massimo (solstizio d'estate), le ore canoniche erano di durata variabile.

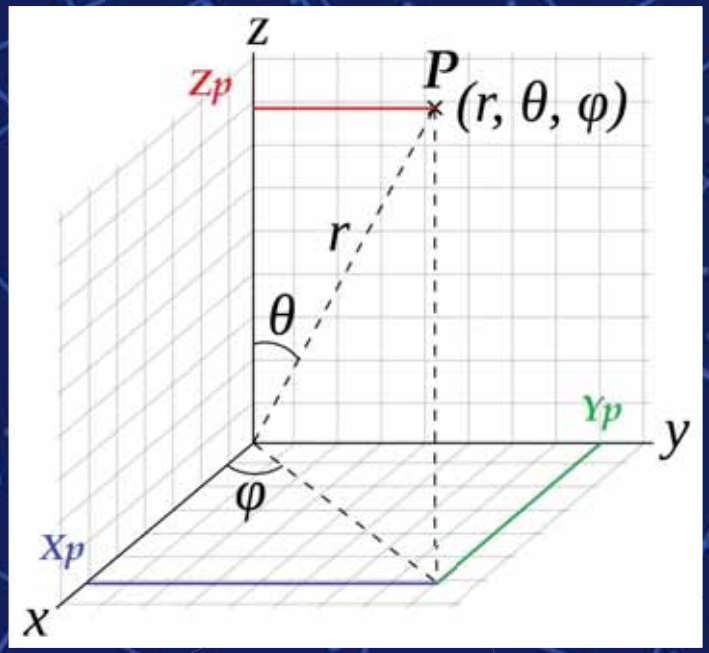
Le **ore uguali** (cioè di durata regolare e uniforme ogni giorno dell'anno) si dicevano **babilonesi** (inizio del giorno fissato all'alba), **italiche** (inizio del giorno fissato al tramonto), **francesi** o **astronomiche** (inizio alla mezzanotte). (PDL)

Orologio solare verticale a ore canoniche, Venafro (IS), cattedrale, 1200 – 1349 circa

Orologio solare verticale a ore francesi, Marcianise (CE), Annunziata, padre Pasquale Contursi, 1806

Planetario di Caserta

Goniometri per la misura della posizione stellare



Per individuare la **posizione** di un punto nello spazio occorrono tre distanze (x, y, z) o una distanza e due angoli (verticale e orizzontale). Ma quando guardiamo da Terra le stelle ci accontentiamo solo degli angoli perché le immaginiamo tutte alla stessa distanza da noi (**sfera celeste**).

Il **goniometro** serve per misurare gli angoli piani.

L'**astrolabio** (in greco "che prende le stelle") è un goniometro ideato per il calcolo delle posizioni delle stelle. Le incisioni sui dischi mobili sono proiezioni dei cerchi astronomici (equatore celeste, meridiani, paralleli, tropici, eclittica); il goniometro è sul bordo. L'asta mobile (alidada) serve per puntare agli astri.

Sembra che già **Ipparco di Nicea** (2° secolo a.C.) conoscesse l'astrolabio piano ma la prima descrizione è di Teone d'Alessandria (4° sec. d. C.).

L'**astrolabio piano** funziona solo nel luogo della Terra per il quale è stato progettato. La versione universale fu inventata dagli Arabi (11° sec.) e riproposta nel Rinascimento (Rojas, 1550; Frisius, 1556).

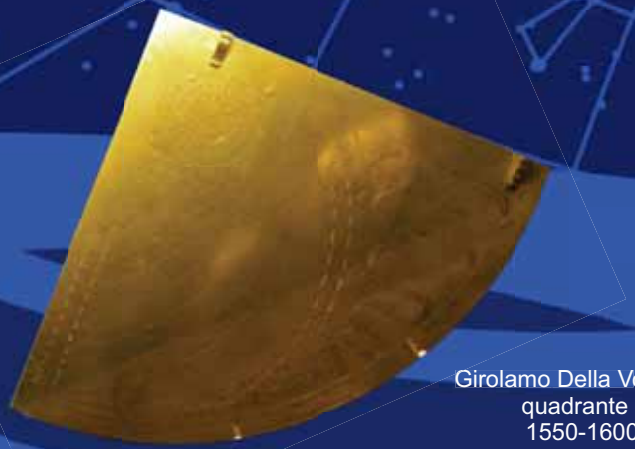
Il **quadrante** è la semplificazione e la riduzione dell'astrolabio; nell'uso nautico serve solo come goniometro. Noto dal 10° secolo (Ripoll, manoscritto 255) fu perfezionato da **Jacob ben Machir ibn Tibbon** alla fine del 1200 (Paris, Bibl. Nat., ms. 1054).

Anche la **bussola** può essere usata per la misura degli angoli se fornita di un goniometro.

Il **radio astronomico** misura gli angoli grazie alla similitudine dei triangoli. Già noto agli Arabi, fu descritto per primo dal matematico ebreo **Levi ben Gerson** (1345) e per l'uso astronomico e nautico nel Rinascimento. E' detto **balestriglia** in nautica o **bastone di Giacobbe** nel rilievo terrestre. (PDL)

Astrolabio piano, bottega di Ibrahim Ben Abd el Krim, dal Cairo, 13° secolo, Napoli, Museo Nazionale di San Martino

Frontespizio da Petri Apiani, *Introductio geographica,* Ingolstadt, 1533, con mano, quadrante, radioastronomico, notturnale, quadrato



Girolamo Della Volpaia
quadrante orario
1550-1600 circa
appartenuto a Vincenzo Viviani, Firenze, Museo Galileo

Planetario di Caserta

La forma dello spazio vicino e lontano alla Terra

Michael Wolgemut e Wilhelm Pleydenwurff, modello geocentrico tolemaico, in Hartmann Schedel, *Registrum huius operis libri cronicarum cu figuris et ymagibus ab inicio mudi,* Norimberga, 1493

Modello eliocentrico nella prima pubblicazione di Nicola Copernico, *De revolutionibus orbium coelestium*, Norimberga, 1543

Ogni civiltà ha ideato un modello geometrico per descrivere la forma della Terra e dell'universo più prossimo ad essa.

Egizi e Babilonesi immaginarono una **Terra piatta**, limitata da acque. Forse furono i **navigatori Fenici** a notare per primi la visione parziale degli alberi delle navi sull'orizzonte del mare e la forma curva dell'ombra della Terra sulla Luna nell'eclissi di Luna. Erano indizi che la Terra fosse sferica.

I filosofi greci **Pitagora**, **Parmenide** ed **Esiodo**, tra 6° e 5° secolo a. C., proposero per primi che la Terra fosse sferica. Tra i non scienziati l'idea che la Terra fosse piatta è sopravvissuta fino alla scolarizzazione di massa e alle prime fotografie dallo spazio (vettore V2, 1946, e satellite Explorer 6, 1959).

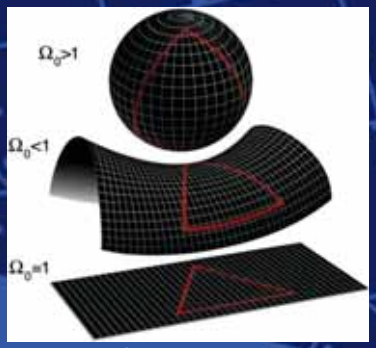
Sempre in Grecia, **Eudosso di Cnido** ed **Aristotele** (4° secolo a. C.) proposero il **modello geocentrico**. La Terra era sferica, immobile, al centro dell'universo e tutti i corpi celesti orbitavano su sfere concentriche alla Terra. **Ipparco di Nicea** (2° sec. a. C.) e infine **Claudio Tolomeo** (2° sec. d. C.) perfezionarono il modello geocentrico introducendo il moto dei pianeti su epicicli, piccole sfere il cui centro ruotava su grandi sfere (deferenti). Le **sfere armillari** erano la realizzazione materiale in piccolo del modello tolemaico.

Già **Aristarco di Samo** (3° sec. a. C.) ipotizzò che il Sole fosse al centro, immobile e che la Terra e gli altri corpi orbitassero su sfere poste intorno, tranne le stelle che erano fisse e lontanissime.

Ma il modello tolemaico prevalse fino a **Niccolò Copernico** e alla formulazione delle leggi di **Johannes Kepler** (orbite ellittiche e velocità areolare costante, in *Astronomia nova*, 1609; rapporto costante tra quadrati dei periodi e cubi dei semiassi, **in** *Harmonices Mundi*, 1619) e alle prove sperimentali prodotte da **Galileo Galilei** (*Sidereus Nuncius*, 1610).

Dal 1929 (**redshift** misurato da Hubble) si sa che l'Universo è in espansione, che è temporalmente finito (paradosso di Olbers, 1823) e la sua geometria potrebbe essere diversa a seconda della massa complessiva (euclidea, sferica o iperbolica). (PDL)

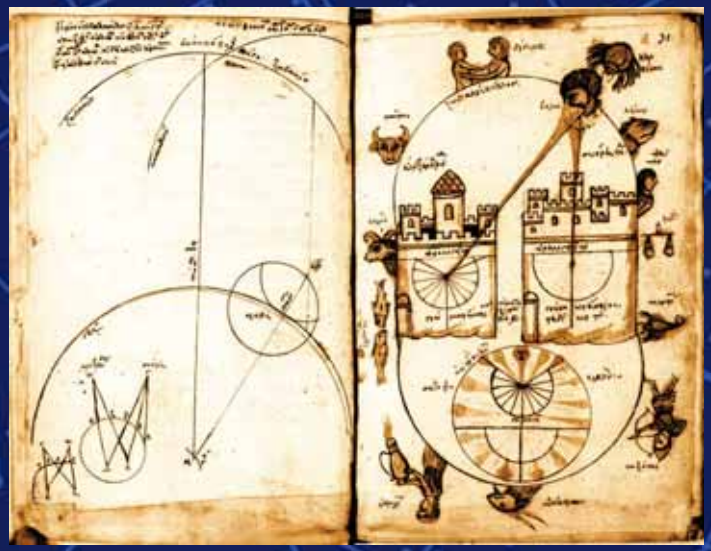
Antonio Santucci, sfera armillare commissionata dalla famiglia Medici (Firenze 1588-93), Firenze, Museo Galileo



Possibili geometrie dell'Universo a seconda della massa complessiva (da NASA/WMAP Science team.)

Planetario di Caserta

Geometria per le distanze: dalla Terra allo spazio



Il metodo di Eratostene per la stima del raggio terrestre, in Cleomedis, *Introductio de motu coeli et planetarum,* Munchen, Bayerische StaatsBibliothek, cod. graec. 482, ff. 30v-31r, datato tra 1200 e 1300

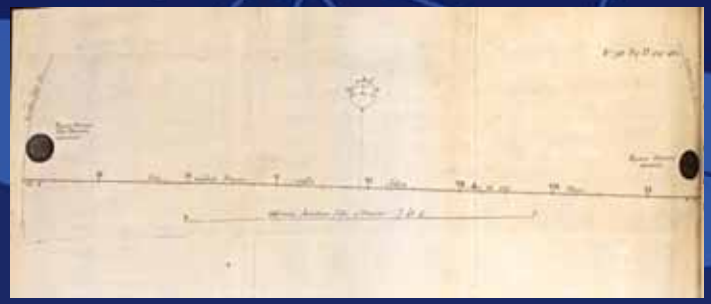


Tavola da E. Halley, *Method of determining the parallax of the Sun,* «Philosophical trasmactions», XXIX, 1716, London, Royal Society

Le distanze si misurano in modo diretto col metro o la riga. Per distanze grandi si usano formule matematiche (misura indiretta). Applicando in modo geniale poche proprietà geometriche, sin dall'Antichità furono stimate le distanze principali di interesse per l'astronomia.

Eratostene di Cirene (230 a.C.) stimò per primo la misura del raggio della Terra sfruttando la similitudine e quindi la proporzione tra i lati dei triangoli d'ombra di un bastone verticale di una località al tropico del Cancro (Assuan) e di Alessandria d'Egitto, città tre le quali gli era nota la distanza. Il valore ottenuto per il **raggio terrestre** è errato di qualche percento rispetto alle misure scientifiche attuali (**6371 km**).

Aristarco di Samo (270 a.C.) aveva già stimato la distanza Terra – Luna e la distanza Terra – Sole, valori errati per difetto di un fattore 20 ma ricavati con una procedura corretta grazie all'osservazione degli angoli Terra-Luna-Sole quando la Luna è al primo quarto. Infatti, in media la **distanza Terra – Luna** è 400 circa volte inferiore (**384000 km**) a quella **Terra – Sole** (**149.600.000 km**).

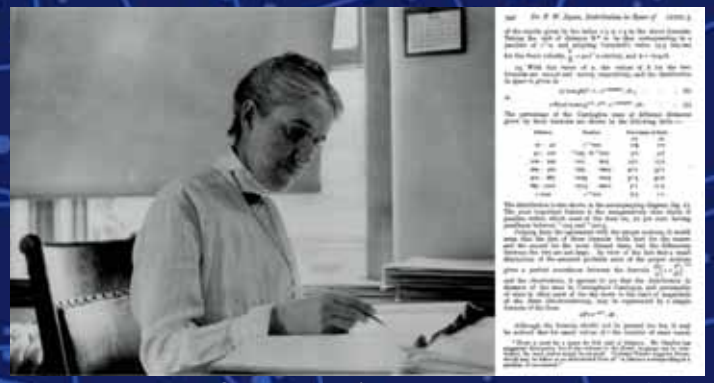
Per la stima è indispensabile conoscere la **dimensione angolare** della Luna e del Sole (0,5° per entrambi, perché la Luna è circa 400 volte più piccola del Sole).

Durante una eclissi totale di Sole (146 - 135 a.C.), **Ipparco di Nicea** stimò il **raggio della Luna** (**1.737 km**).

Una procedura per una stima più corretta della **Unità Astronomica** (distanza media della Terra dal Sole) fu ideata da **Edmond Halley** nel 1716 usando la **parallasse** cioè l'angolo sotto il quale lo stesso oggetto è osservato da due punti di vista equidistanti dall'oggetto ma diversi.

Ma per distanze superiori a 100 anni luce si usa il **metodo delle cefeidi** (stelle di luminosità variabile), ideato dall'astronoma **Swan Leavitt** (1912) e l'unità di misura è il **parsec** (la distanza a cui da una base di una unità astronomica si vede un oggetto con la parallasse di un secondo d'arco). (PDL)

A sinistra e al centro: Federico Commandino, *Aristarco di Samo de magnitudinibus et distantiis Solis et Lunae*, Pesaro, 1570; a destra la dimostrazione della identica dimensione angolare di Sole e Luna, in Cleomedis, *Instroductio de motu coeli et planetarum,* Munchen, Bayerische StaatsBibliothek, cod. graec. 482, f. 44v



A sinistra: Henriette Swan Leavitt (Lancaster Massachusetts, 1868 - Cambridge Mas., 1921) al lavoro. A destra pagina dell'articolo di F. W. Dyson, *The distribution in space of stars in Carrington's Circumpolar Catalogue*, «Montly Notices of the Royal Astronomic Society», 1913, 74, pp. 334-342, in cui l'autore attribuisce l'invenzione del termine parsec a Herber Hall Turner (1913)

Planetario di Caserta

Insegnare e studiare fisica a Napoli: storie di libri

Da sinistra: frontespizio de *Elementa statices* di **Nicola De Martino** (Faicchio, 1701 - Napoli, 1769); indice ed una pagina del suo trattato inedito *Astronomiae novae et veteris,* copia manoscritta dal suo allievo Ferdinando De Leo nel 1735 (Brindisi, Biblioteca pubblica arcivescovile A. De Leo) (*da Internet Culturale*)

Ritratto e frontespizio dell'edizione napoletana del 1822 degli *Elementi di fisica sperimentale* di **Giuseppe Saverio Poli** (Molfetta, 1846 - Napoli, 1825) e frontespizio della sua raccolta poetica *Viaggio celeste* (Napoli, 1805)

Nel 1600, la cultura scientifica napoletana fu lontana dalla matematizzazione dei modelli dei fenomeni naturali introdotta da Galilei e diffusa dai suoi allievi. La pratica sperimentale si diffuse grazie a **Tommaso Cornelio** (*Progymnasmata physica*, Venezia, 1663) e a **Leonardo di Capua** (1617 – 1695).

Pioniere della didattica della fisica newtoniana fu **Agostino Ariani**, professore di geometria e astronomia all'Università di Napoli dal 1695. **Celestino Galiani** (zio del celebre Ferdinando), tenace sostenitore di Newton, fece istituire la prima cattedra di Meccanica e Nautica all'Università (1735).

Primo professore fu il suo allievo **Pietro De Martino** (Faicchio, 1707 – Napoli, 1746), grande didatta della matematica e della fisica. Egli (*Philosophiae naturalis institutionum*, Napoli, 1738), suo fratello maggiore **Nicola De Martino** (*Elementa statices*, Napoli, 1727) e **Giovanni Maria Della Torre** (*Scienza della natura*, 1748, forse tra i primi in lingua italiana; *Institutiones physicae*, 1753) furono autori dei primi libri universitari di fisica italiani in senso moderno.

Il libro di **Giuseppe Saverio Poli** (*Elementi di fisica sperimentale*, Napoli, 1781) fu adottato da Volta per le sue lezioni all'università, fu studiato da Leopardi ed ebbe 25 edizioni fino al 1837.

Luigi Palmieri (Faicchio, 1807 – Napoli, 1896) scrisse il primo manuale scolastico "napoletano" di fisica (*Lezioni elementari di fisica sperimentale e di meteorologia*, Napoli 1853) diffuso per l'insegnamento nei licei e negli istituti tecnici campani nati dal 1861.

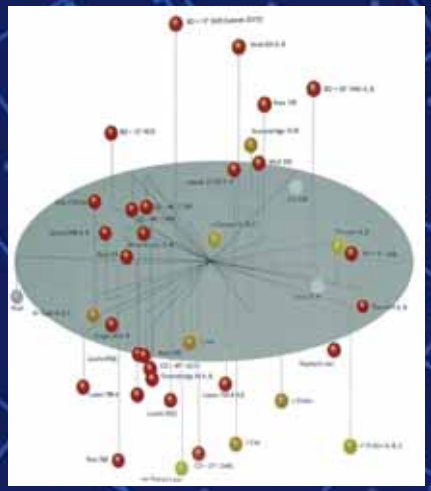
Di appena un anno prima era il testo di **Adolphe Ganot** (Paris, 1851), subito diffuso a Napoli. Dagli anni 1880, le scuole casertane e beneventane affiancarono a questi libri i manuali di **Luigi Pinto** e di **Jules Celestin Jamin** (1870), nella traduzione-adattamento dei napoletani **Leopoldo Ciccone** e **Filiberto Campanile** (*Piccolo trattato elementare di fisica*, 1880) che poi produssero un loro testo originale (1891). (PDL)

Frontespizio, collage di alcuni enunciati sulla legge di gravitazione universale di Newton e tavola con raffigurazioni della macchina di Varignon per la composizione vettoriale delle forze dall'edizione veneziana (1750) della *Scienza della natura generale* di **Giovanni Maria Della Torre** (Roma, 1710 - Napoli, 1782), tra i primi libri di fisica destinati all'insegnamento scritti in italiano

Frontespizio, pagina con la regola del parallelogramma per la composizione vettoriale delle forze e pagina con la bussola cardanica per uso nautico, dalla prima edizione delle *Lezioni elementari di fisica sperimentale e meteorologia* di **Luigi Palmieri,** modello per i successivi libri di Pinto e Ciccone-Campanile

Planetario di Caserta

Guardare oltre il Sistema Solare: distanze enormi



Il Sole e le stelle più vicine all'interno della via Lattea (il piano galattico è in grigio) (da G. Vanin, *Atlante fotografico dell'Universo*, 1995)

La via Lattea e le galassie e gli ammassi più vicini (modificata da www.atlasoftheuniverse.com)

L'**anno luce** è la distanza percorsa dalla luce in un anno alla velocità di circa 300 mila km/s. Un anno luce corrisponde a 9400 miliardi di chilometri circa.

Il **Sistema Solare** è l'insieme di corpi che il Sole tiene legati e muove grazie all'attrazione gravitazionale della sua enorme massa (circa 5000 volte più grande di quella di tutti gli altri corpi del Sistema Solare messi insieme).

Ma il confine del Sistema Solare è posto all'**eliopausa** cioè dove il vento solare è fermato dal mezzo interstellare. L'eliopausa è alla distanza di 15 miliardi di chilometri dal Sole.

Fino a distanze di decine di migliaia di anni luce dal Sole restiamo nella **via Lattea**, la nostra galassia. Una **galassia** è formata da miliardi di stelle e, soprattutto, gas e polveri che ruotano intorno ad un centro.

La nostra galassia ha circa 180-200 miliardi di stelle ed ha un raggio di circa 50000 anni luce. Noi siamo a circa 30 mila anni luce dal centro.

La via Lattea fa parte del Gruppo Locale, un gruppo di circa 70 galassie ed ha un raggio di circa 5 milioni di anni luce.

Al **Gruppo Locale** appartiene la **Galassia di Andromeda**, che è l'unico oggetto non stellare della nostra galassia che si vede ad occhio nudo (visibile come un piccolo batuffolo di cotone luminoso nei cieli di migliore qualità).

In genere, le galassie sono raggruppate in ammassi di migliaia di elementi. L'**Ammasso della Vergine** contiene circa 1500 galassie, con un raggio di circa 60 milioni di anni luce .

L'Ammasso della Vergine è al centro del Superammasso della Vergine.

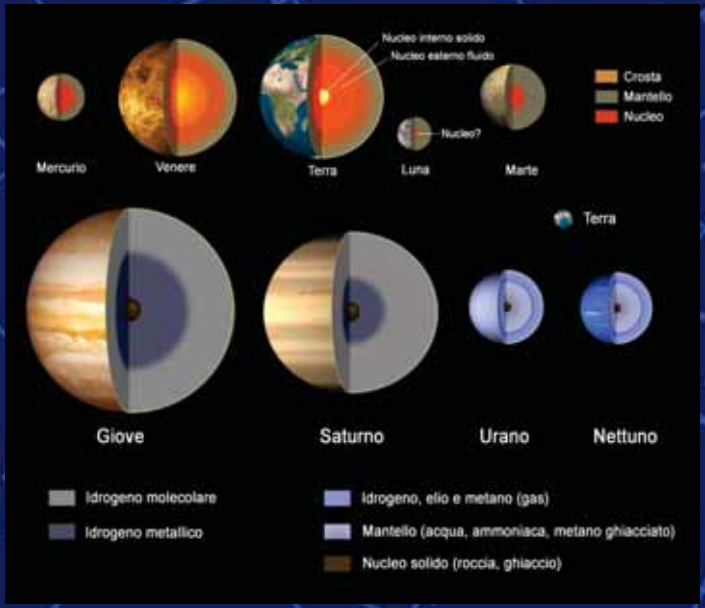
L'universo osservabile dalla Terra è come quello contenuto in una sfera di raggio pari a 46 miliardi di anni luce. (PDL)

Via Lattea, Gruppo Locale e galassie vicine appartenenti all'Ammasso della Vergine (da A. Ciccolella, 2016 , wikipedia, modificata)

Superammasso della Vergine e superammassi vicini (modificata da www.atlasoftheuniverse.com)

Planetario di Caserta

Gravità al lavoro: la struttura interna dei pianeti



Rocciosi o gassosi, la struttura dei pianeti è a **gusci concentrici** omogenei per uguali profondità (tranne per la crosta terrestre). La densità aumenta dalla superficie del pianeta verso l'interno. **Temperatura** ed **elementi chimici** che compongono il pianeta sono dati cruciali per stabilire le caratteristiche dei gusci e la loro natura gassosa o rocciosa.

L'**atmosfera** è il guscio meno denso, sempre gassoso, trattenuto dal pianeta grazie alla forza di gravità. Mercurio e Marte ne sono praticamente privi. Tra i pianeti rocciosi Venere ha il primato dell'atmosfera più massiccia (93 volte quella terrestre). Anche i pianeti gassosi hanno atmosfera.

La **struttura interna** dei pianeti rocciosi è articolata (dall'esterno verso l'interno) in crosta, mantello e nucleo sulla base della diversa composizione chimica.

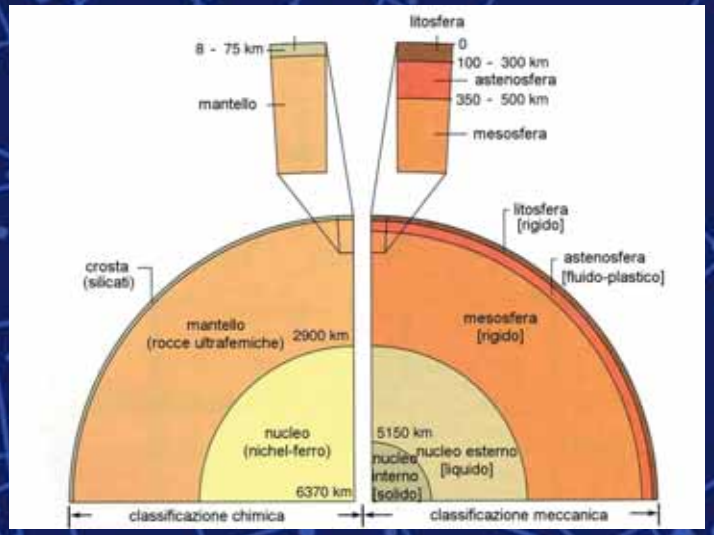
La **crosta terrestre** ha uno spessore molto variabile e molto disomogenea per effetto dei processi geologici Le sue rocce sono in gran parte ossidi del silicio e dell'alluminio (75%). Il comportamento meccanico è rigido.

Il sottostante **mantello** è denso quasi il doppio della crosta. Ciò spiega la **discontinuità di Mohorovicic** (grande aumento delle velocità delle onde sismiche). Il mantello è composto di rocce ultrafemiche (meno del 45% di silicio e maggiori percentuali di magnesio e ferro rispetto alla crosta).

Dal punto di vista meccanico, il mantello superiore si comporta rigidamente come la crosta: insieme formano la **litosfera**. La litosfera è fratturata in **placche** separate da dorsali (aree di risalita del mantello riscaldato) e da fosse (limiti di sprofondamento della crosta).

Le placche "galleggiano" sul mantello che le sposta grazie ai **moti convettivi**. Infatti, la parte centrale del mantello si comporta come un fluido plastico (**astenosfera**) a causa della temperatura che cresce verso l'interno. La discontinuità verso il nucleo sottostante è segnalata dal diverso comportamento meccanico (il nucleo si comporta come un liquido).

Il **nucleo** è composto da nichel e ferro ed è articolato in esterno e interno (solido e cristallizzato), separati da una discontinuità (sempre scoperta dalla sismologia). (PDL)

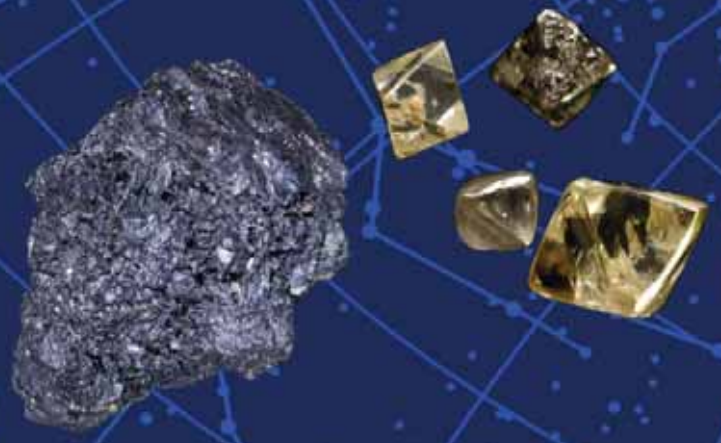


Movimento delle placche titosferiche in milioni di anni di evoluzione dalla Pangea iniziale (290 milioni di anni fa) ad oggi

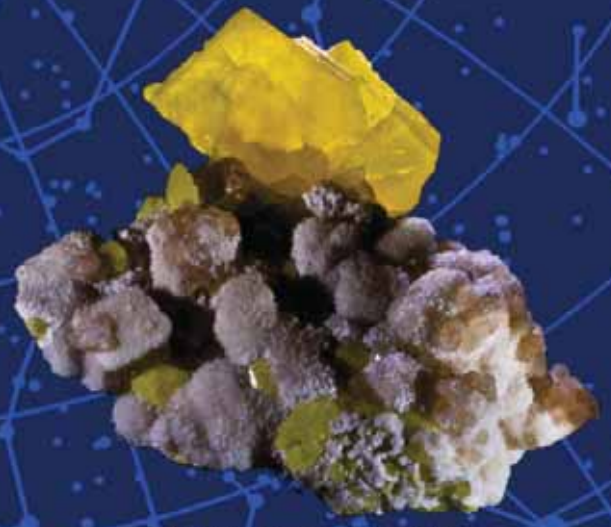
Le principali placche litosferiche con le dorsali e le faglie. Le frecce indicano il verso del movimento relativo

Planetario di Caserta

Geometrie regolari nelle rocce: i minerali



Grafite e diamante: due forme per lo stesso elemento: il carbonio



Zolfo, Valguarnera, Enna, Sicilia

I **minerali** sono le sostanze naturali per lo più inorganiche e allo stato solido che costituiscono le rocce della crosta terrestre e altri corpi celesti. Hanno proprietà fisiche omogenee, composizione chimica caratteristica propria (variabile ma sempre ben definita).

I minerali posseggono un'impalcatura di atomi (**reticolo cristallino**) fissa e caratteristica: gli atomi si dispongono in successioni regolari lungo direzioni e piani. Il cristallo è l'espressione esterna di tale struttura.

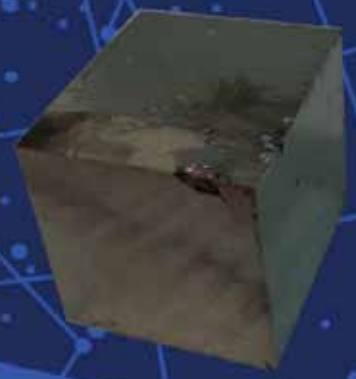
A seconda di diverse condizioni di pressione e temperatura, uno stesso minerale perciò può cristallizzare in diverse forme (**polimorfismo**).

I minerali sono identificati grazie a diverse **proprietà fisiche**: durezza (10 valori, dal talco al diamante), lucentezza, colore, peso specifico, frattura, luminescenza e altre.

La classificazione che si basa sulla **composizione chimica** individua 10 classi: elementi nativi, solfuri, alogenuri, ossidi e idrossidi, carbonati e nitrati, borati, solfati e cromati, fosfati e arseniati, silicati, composti organici. I silicati sono i minerali più abbondanti e hanno sei sottoclassi.

Lo studio dei minerali provenienti dallo spazio dà informazioni sulla formazione dell'intero Sistema Solare. Sono stati campionati circa 300 minerali; alcuni di quelli provenienti dalle meteoriti sono estranei alla Terra. (LP)

Quarzo, Francia



Pirite, Isola d'Elba.

Planetario di Caserta

Doni dall'interno della Terra: rocce ignee

Basalto lunare raccolto dalla missione Apollo 11 (1969) al microscopio

Anortosite (basica intrusiva) di provenienza lunare.

Le **rocce magmatiche** o **ignee** sono il prodotto finale del consolidamento di un **magma**, cioè di una massa fusa composta essenzialmente da silicati e ricca di elementi volatili.

La fusione diretta dell'involucro immediatamente sottostante alla crosta dà origine al **magma primario**, di composizione basaltica. Da tale magma derivano tutte le rocce emesse in superficie.

Le rocce prodotte durante le eruzioni si dicono **vulcaniche** o **effusive**; il raffreddamento è veloce, la formazione dei cristalli dei minerali non accurata o assente.

Il magma iniettato in fratture della crosta a modesta profondità genera rocce **ipoabissali** o **filoniane**. Il loro raffreddamento è troppo rapido perché si possano formare cristalli regolari, sono **amorfe**.

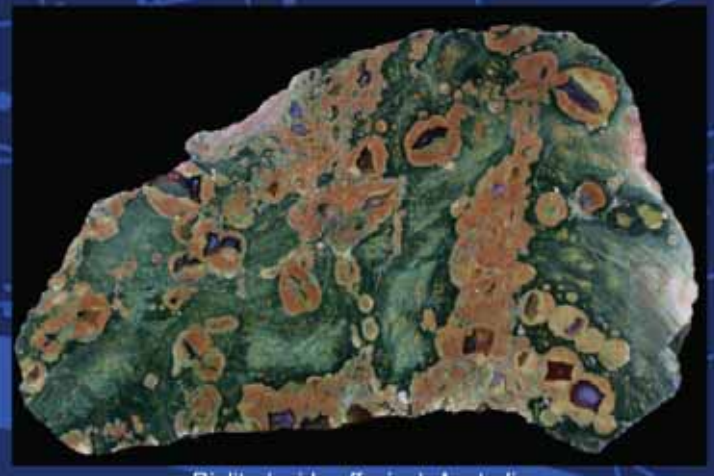
La fusione profonda di masse di origine superficiale genera un magma analettico, granitico e fortemente viscoso che cristallizza in profondità generando rocce **intrusive** o **plutoniche**; il raffreddamento è lento, i cristalli sono regolari e piuttosto grandi.

Le rocce magmatiche si classificano anche in base alla composizione chimica, per il contenuto di silice (SiO_2): acide (silice oltre il 65%), intermedie, basiche, ultrabasiche (silice fino al 45%). Alcuni esempi:

Granito: acida intrusiva.
Porfido: acida effusiva.
Gabbro: basica intrusiva
Basalto: basica effusiva.

La più antica delle rocce lunari studiate e riportate sulla terra dalle missioni Apollo è l'anortosite, metamorfica intermedia intrusiva. La superficie di Venere è quasi totalmente ricoperta da basalti. Basalti sono stati campionati anche sulla Luna. (LP)

Granito, Ecuador



Riolite (acida effusiva), Australia

Planetario di Caserta

Rocce sedimentarie: storie di accumulo

Arenaria su Marte, monte Sharp (NASA)

Strati di arenaria, deserto Wilderne, Arizona, USA

La **sedimentazione** è il processo di deposito e accumulo di materiali di origine inorganica o organica su terre emerse o sul fondo di laghi, mari e oceani.

Le rocce sedimentarie si generano dal **consolidamento** di frammenti di altre rocce preesistenti, gusci e resti solidi di organismi animali e vegetali, sabbie, ceneri vulcaniche.

Al passare del tempo, i componenti sono alterati e disgregati da agenti esogeni o precipitano chimicamente per soluzione, trasportati da fluidi (acqua, vento, ghiaccio) per depositarsi negli specifici ambienti sedimentari.

Qui si trasformano in roccia coerente (**diagenesi**) mediante meccanismi di compattazione, per via del carico dei sedimenti sovrastanti, o cementazione, grazie a sostanze naturalmente cementanti come il carbonato di calcio.

Le rocce sedimentarie sono di tre tipi: clastiche, organogene e chimiche.

Alle **clastiche** appartengono (differenziate per le dimensioni dei frammenti che le compongono): conglomerati, arenarie, argille, marne e piroclastiti.

Le **organogene** si dividono in: rocce carbonatiche e silicee, carboni fossili e idrocarburi.

Le rocce **chimiche** possono essere: evaporiti, dolomie e rocce carbonatiche e silicee di origine evaporitica per metamorfismo regionale con modesta scistosità. (LP)

Stalattiti e stalagmiti in grotta, Spagna, Mallorca

Evaporite salina, Realmonte, Sicilia

Planetario di Caserta

Rocce da pressione e calore: rocce metamorfiche

Micascisto, Valle del Caffaro, Brescia

Gneiss, Scozia

Le **rocce metamorfiche** si formano per trasformazione di rocce preesistenti a causa di forti aumenti di pressione e/o di temperatura.

Il **processo metamorfico** avviene allo stato solido, cioè senza fusione della roccia, al di sotto della superficie terrestre.

Il metamorfismo **riduce** il volume delle strutture cristalline dei minerali, compattandole.

Il **metamorfismo di contatto** agisce a bassa profondità (fino a 10 chilometri) e a basse pressioni.

Il **metamorfismo regionale** avviene tra 10 e 40 chilometri nelle zone di collisione tra placche litosferiche e a pressioni molto alte.

Le rocce metamorfiche si classificano in base alla natura del loro **protolite** (la roccia di partenza), alle caratteristiche strutturali (disposizione degli strati, foliazione, scistosità, clivaggio, tessitura, strutture lineari), alla composizione chimica e mineralogica.

Tecnicamente un corpo che dallo spazio impatta con la Terra (un meteorite) produce un metamorfismo da impatto che comporta la parziale fusione e vaporizzazione delle rocce coinvolte.

Ecco esempi di rocce metamorfiche più comuni.

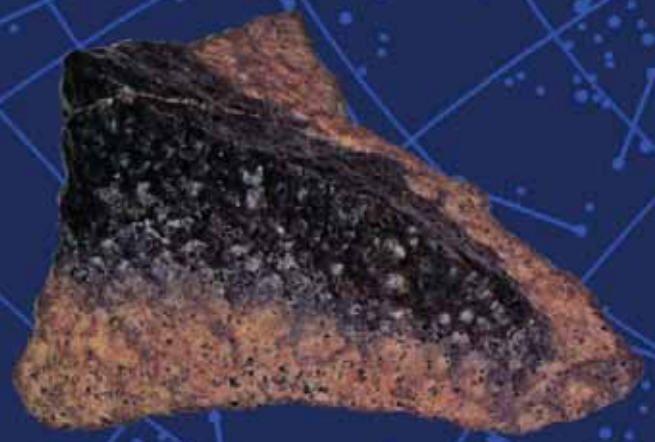
Filladi: metamorfismo di rocce argillose, costituite da cristalli di quarzo e mica con scistosità molto accentuata (si sfaldano in lamine sottili);
Micascisti: metamorfismo regionale di rocce argillose, costituite dall'alternarsi di cristalli di quarzo e miche;
Marmi: rocce che derivano dalla completa ricristallizzazione del carbonato di calcio
Gneiss: rocce formate per metamorfismo regionale con modesta scistosità. (LP)

Marmo estratto in una cava di Colonnata, Carrara

Cava di ardesia, Portogallo

Planetario di Caserta

Rocce spaziali piovute dal cielo: le meteoriti



Jrifiya, acondrite (shergottite) proveniente da Marte, ritrovata in Marocco

La Bécasse, condrite ritrovata nella Loir-et-Cher, conservata a Parigi, Muséum National d'histoire naturelle

Le **meteoriti** sono ciò che resta di parti vaganti (**meteoroidi**) di altri corpi del Sistema Solare che sono catturate dall'attrazione gravitazionale del nostro pianeta.

Nell'attraversare l'atmosfera i meteoroidi si riscaldano, vaporizzano e si erodono per attrito (**ablazione**): le parti eventualmente sopravvissute che cadono sulla Terra sono le meteoriti.

I meteoroidi possono essere frammenti di asteroidi generati da urti fra essi o frammenti di comete. Alcune meteoriti trovate sulla Terra forse provengono direttamente dalla Luna e da Marte, come parti prodotte da precedenti impatti di meteoroidi con questi corpi celesti.

Le meteoriti si classificano in: rocciose, ferrose e rocciose-ferrose.

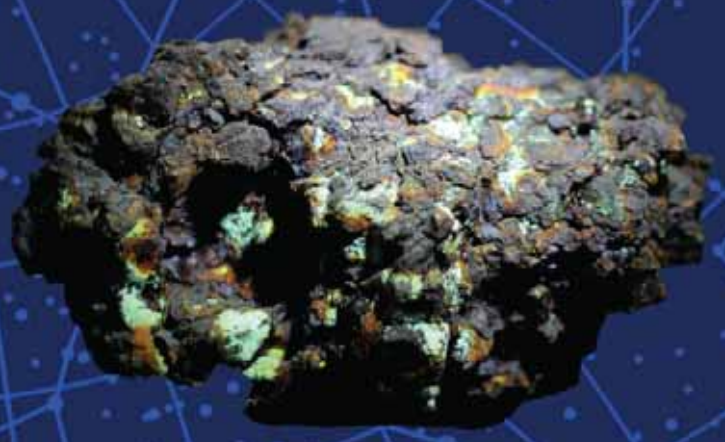
Le meteoriti rocciose si suddividono in condriti e acondriti.

Le **condriti** sono rimaste immutate fin dalla costituzione. Sono composte dai minerali più antichi che l'Uomo conosca, datati a 4,567 miliardi di anni fa, poco dopo la formazione del Sole. Le condriti sono il 75% delle meteoriti campionate.

Le **acondriti** sono resti di meteoroidi provenienti dall'asteroide Vesta e da Marte e sono più rare.

Le meteoriti **ferrose** sono probabilmente parti di nuclei di asteroidi. Sulla base della quantità di nichel si differenziano in esaedriti (4,5% - 6,5% di nichel), ottaedriti (6,5% - 13%) e atassiti (fino al 30%).

Le meteoriti **rocciose-ferrose** si compongono principalmente di mesosideriti e pallasiti. (LP)

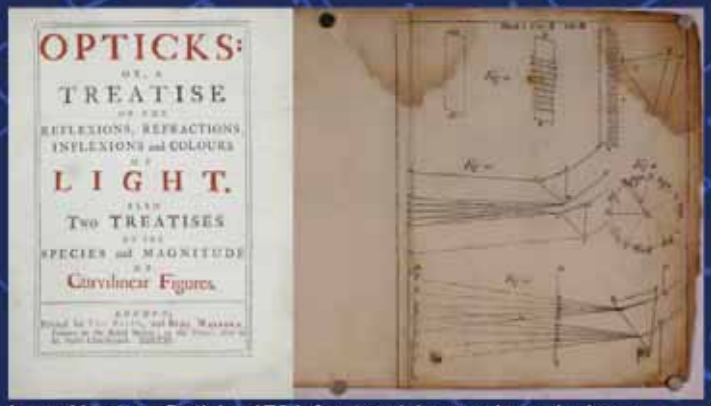


Vaca Muerta (frammento), meteorite ferro-rocciosa (mesosiderite), Cile, deserto di Atacama

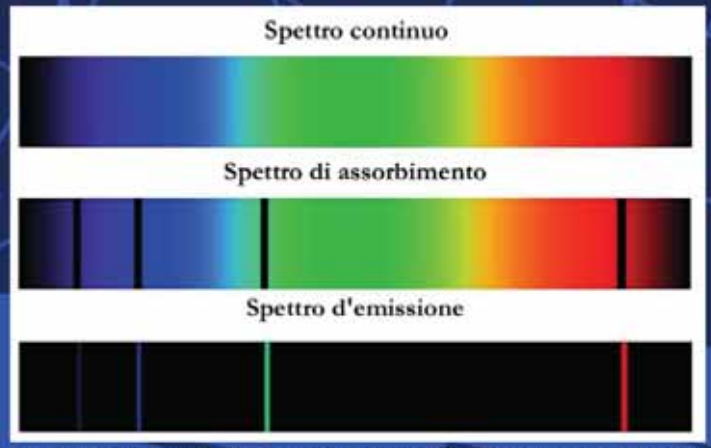
Bacubirito, ottaedrite ritrovata in Messico

Planetario di Caserta

I segreti della luce e la voce delle stelle: lo spettro



Isaac Newton, *Opticks*, 1704, frontespizio e pagina col prisma



Un gas caldo emette uno **spettro d'emissione**: l'emissione di luce interessa solo ben definite e strette bande spettrali (**righe di emissione**) univoche e caratteristiche di quel gas. Una lampada a incandescenza emette uno **spettro continuo**. Un gas freddo posto davanti a una lampada a incandescenza assorbe la radiazione solo in strette bande spettrali (**righe di assorbimento**), poste alle stesse lunghezze d'onda a cui il gas emetterebbe

Lo **spettro di un'onda** (luminosa o non) è la descrizione (grafica o analitica) di come sono distribuite le intensità di ciascuna componente dell'onda. La rilevazione dello spettro luminoso può avvenire per rifrazione o per diffrazione.

La legge della **rifrazione** descrive la deviazione angolare subita da un fascio luminoso alla superficie di separazione tra due mezzi di propagazione. La deviazione dipende dalla lunghezza d'onda. Grazie alla opportuna geometria del mezzo rifrangente, il fenomeno è utilizzato per disperdere le varie componenti cromatiche della luce.

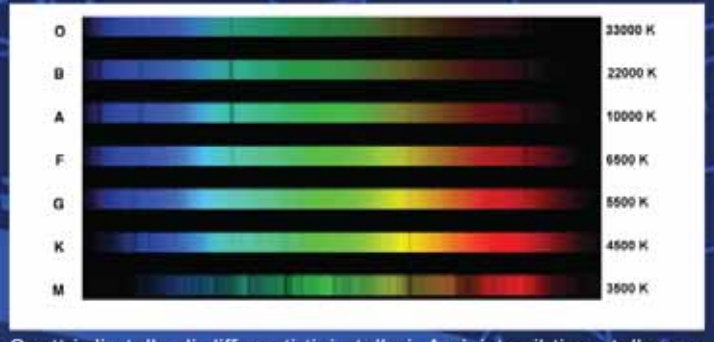
Il primo dispositivo per ottenere lo spettro mediante la rifrazione fu il prisma di cristallo utilizzato da **Isaac Newton** tra 1666 e 1674 (Opticks, London, 1704).

All'inizio del 1800, **Joseph von Fraunhofer** usò la sua abilità di vetraio per creare un prisma molto puro; ciò gli permise di osservare 574 linee nere (**righe di assorbimento**) in uno spettro del Sole, in apparenza continuo. In seguito von Fraunhofer unì un telescopio al prisma per osservare gli spettri della luce di Venere, della Luna, di Marte e di altre stelle.

Un prisma ha una risoluzione spettrale molto limitata e assorbe la luce, il che lo rende poco utile per studiare la luce di stelle poco luminose. Il problema fu risolto all'inizio del 1900 nell'osservatorio Dominion a Ottawa (Canada) dove svilupparono il primo **reticolo di diffrazione a riflessione** di alta qualità.

Le **righe di assorbimento** sono come le impronte digitali dei gas che costituiscono l'atmosfera della stella. Il loro studio dettagliato consente di determinare per la stella: composizione chimica, temperatura e densità superficiale, stato di moto, velocità di rotazione, campi magnetici, eventuale presenza di pianeti. (LAS)

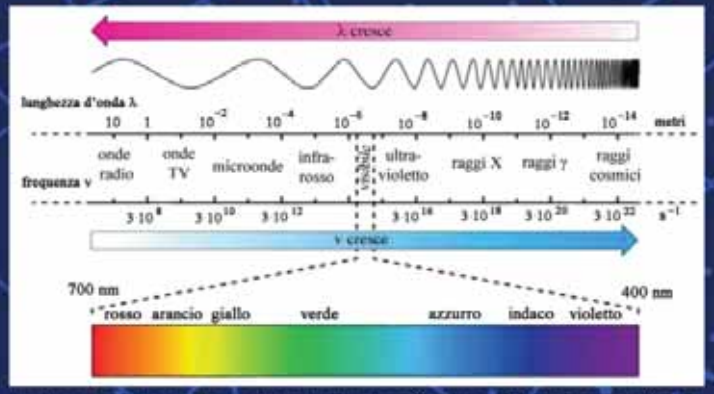
Spettroscopio Bunsen e Kirchhoff (anonimo, 1880 circa), Caserta, Museo Michelangelo. Bunsen e Kirchhoff idearono lo strumento nel 1855. Lo spettroscopio ha una grande importanza nella storia della fisica e della chimica per la determinazione degli elementi, tramite il riconoscimento o meno delle righe presenti negli spettri di emissione o di assorbimento. Ciò ha permesso di riconoscere gli elementi chimici presenti nel Sole e nelle stelle



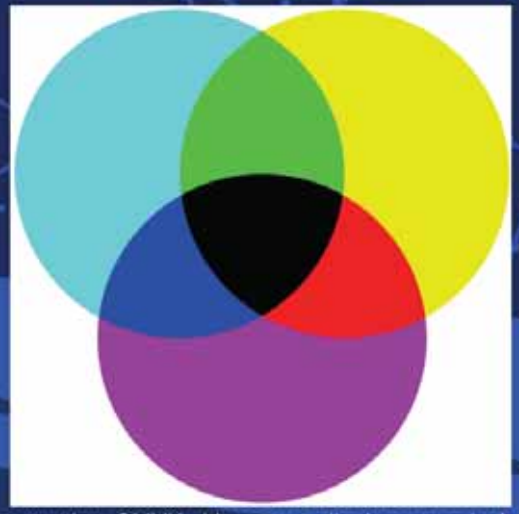
Spettri di stelle di differenti tipi stellari. A sinistra il tipo stellare, a destra le corrispondenti temperature superficiali

Planetario di Caserta

Natura della luce e giochi di colori



La luce rappresenta un intervallo piccolissimo di lunghezze d'onda (distanza tra due creste successive dell'onda) delle radiazioni elettromagnetiche. Il colore è la risposta della nostra percezione alle lunghezze d'onda



Sintesi sottrattiva CMYK. L'assenza di pigmento darà il colore bianco e l'insieme dei tre pigmenti il colore nero (K). Poiché in natura il nero creato non è mai puro, nei pigmenti usati nella stampa va aggiunto un pigmento nero (K) artificiale, per ricreare il nero puro

Il dibattito scientifico sulla **natura corpuscolare** o **ondulatoria della luce** nacque come conseguenza della teoria corpuscolare di **Isaac Newton** (1642 – 1727) e di quella ondulatoria di **Christiaan Huygens** (1629 – 1695).

Nel 1801 l'inglese **Thomas Young** (1773 - 1829) eseguì un fondamentale esperimento che avvalorò la natura ondulatoria della luce: l'**interferenza della doppia fenditura**.

Nel 1865, con la formulazione delle **equazioni** di **James Clerk Maxwell** (1831 –1879) si comprese che la luce era solo una piccola parte dello spettro della radiazione elettromagnetica.

Il modello ondulatorio di Huygens sembrava quello più appropriato quando, nel 1905, **Albert Einstein** (1879 - 1955) giustificò l'**effetto fotoelettrico** postulando l'esistenza di quanti di luce, cioè "pacchetti" indivisibili e discreti di energia detti **fotoni**. Con questo lavoro Einstein vinse il premio Nobel.

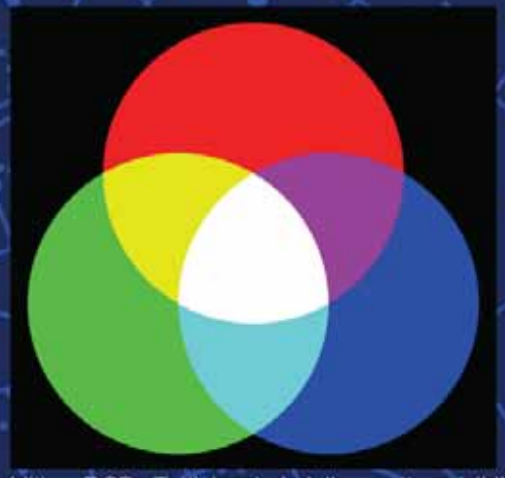
Quindi, la **luce è sempre onda e particella** a seconda dell'esperimento che si esegue per manifestarne la natura.

Il **colore** è la percezione visiva delle lunghezze d'onda delle radiazioni elettromagnetiche comprese nello spettro visibile. La risposta cromatica va dal violetto (lunghezze d'onda più corte) al rosso (più lunghe).

Componendo in modo opportuno la luce di tre sorgenti, una rossa, una blu e una verde, è possibile ottenere tutti i colori dello luce visibile (**sintesi additiva**). Per questo il rosso (R), il verde (G) ed il blu (B) sono detti **colori primari**.

Questo è il principio di funzionamento degli schermi e dei monitor (TV, PC, smartphone).

Con la **sintesi sottrattiva** è possibile riprodurre ogni colore di un oggetto opaco (per esempio una stampa a colori), Illuminato con luce bianca, utilizzando tre pigmenti (ad esempio inchiostro), uno ciano (C), uno magenta (M) ed uno giallo (Y). (LSA)

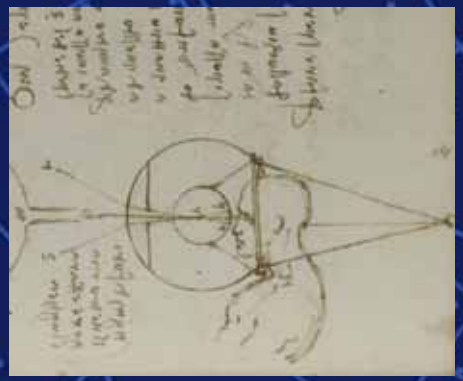


Sintesi additiva RGB. Tutti i colori dello spettro visibile di una sorgente di luce possono essere riprodotti da una combinazione opportuna dei tre colori primari R (rosso), G (verde) e B (blu). Il bianco è la combinazione di tutti e tre colori primari alla massima intensità, il nero è l'assenza di luce

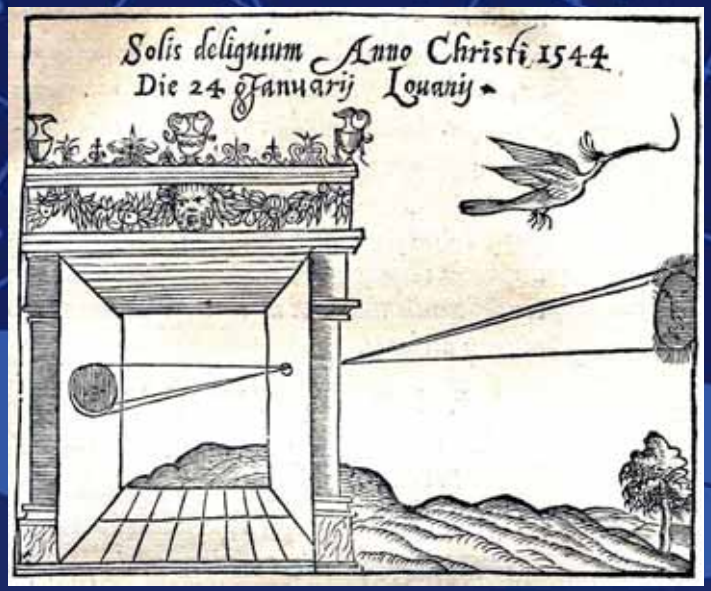
Componenti RGB di una immagine a colori e loro sintesi additiva

Planetario di Caserta

Magie realizzate dalla luce: la camera oscura



Leonardo, l'occhio umano come spiegato con la camera oscura, Milano, Biblioteca Ambrosiana, codice Atlantico



Prima raffigurazione dell'uso della camera oscura per osservazioni astronomiche, Reiner Gemma Frisius, *De radio astronomico et geometrico liber*, Anversa, 1555

La **camera oscura** è uno apparato ottico che produce su uno schermo l'immagine di oggetti o scene nell'ambiente circostante "viste" dal foro praticato in un volume chiuso e buio.

Il primo ad occuparsene fu il medico e matematico Ibn al-Haytham noto come **Alhazen** (Bassora, 965 - Il Cairo, 1038).

Nel 1292 il monaco francese **Guglielmo di Saint-Cloud**, celebre per le sue osservazioni astronomiche, la utilizzò per ottenere l'immagine del Sole, senza correre rischi per la vista (basta meno di 1 secondo di osservazione diretta del Sole e si riportano gravi danni all'occhio).

Leonardo da Vinci (Vinci, 1452 - Amboise, 1519) intuì che l'occhio umano funziona come una camera oscura che chiamò *oculus artificialis* (la raffigurazione è a Milano, Biblioteca Ambrosiana, codice Atlantico).

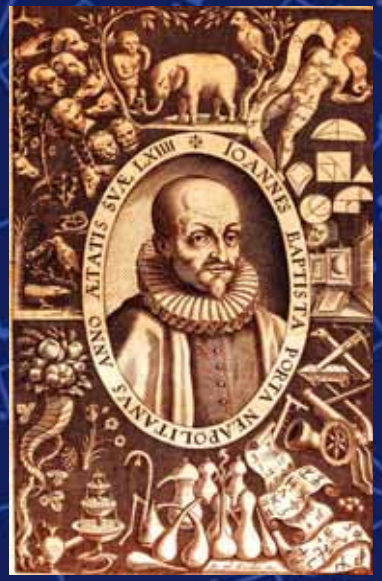
Giovanni Battista Della Porta (Vico Equense, 1535 - Napoli, 1615) coniò il termine "camera oscura".

Girolamo Cardano (Pavia, 1501 - Roma, 1576) utilizzò una lente per migliorare la nitidezza dell'immagine ottenuta da una camera oscura (*De subtilitate*, 1550) come nella fotocamera.

Daniele Barbaro (Venezia, 1514 - ivi, 1570) ne suggerì l'uso per lo studio della prospettiva (Pratica della prospettiva, 1568). Da allora fu usato dai pittori perché consentiva di copiare più facilmente e fedelmente i paesaggi proiettati (anche se si otteneva una immagine capovolta).

La camera oscura sfrutta il principio della **propagazione rettilinea della luce**. I fasci di luce che provengono dall'oggetto sono selezionati dal foro così che solo alcuni di essi raggiungono la superficie dello schermo dove l'immagine è raccolta.

L'immagine risultante è ottenuta da tutti i raggi di luce che, riflessi dall'oggetto, riescono a passare attraverso il foro. Le fotocamere moderne utilizzano di base gli stessi principi della camera oscura. (PDL)



Ritratto di Giovan Battista Della Porta, antiporta dalla sua opera *Della magia naturale*, nella edizione italiana curata da Pompeo Sarnelli, Napoli, 1677

Giovanni Antonio Canal, detto il Canaletto (Venezia, 1697 - Venezia, 1768), 4 disegni realizzati con la camera oscura, in Quaderno di schizzi, Venezia, Gallerie dell'Accademia, Gabinetto dei Disegni e Stampe

Planetario di Caserta