**LA LUCE : CARATTERISTICHE ESSENZIALI**

1. **La luce misura il tempo e lo spazio**

La caratteristica più speciale della luce è proprio la sua velocità : 299792458 chilometri al secondo. E’ la velocità limite della relatività, la massima possibile in materia, non risente del moto della sorgente che la emette (velocità della luce = costante = c) , non si somma né si sottrae. E’ una costante che regola processi fondamentali come la conversione della materia in energia in ambito relativistico, per esempio la fusione nucleare di idrogeno in elio che fa brillare la stelle. La Luce è qualcosa di così profondamente radicato nell’ essenza stessa dell’ universo che i metrologi le hanno assegnato il compito importantissimo di misurare il tempo e lo spazio. Alla velocità della luce nel 1983 la conference generale et mesures ha ancorato l’unità di lunghezza : il metro è definito come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in un intervallo di tempo pari a (1/ 299792458) di secondo. La definizione del secondo fa riferimento alla luce, non colla finestra del visibile ma in quella delle microonde; equivale alla durata di 9192631770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini dello stato fondamentale dell’ atomo di cesio 133.

In entrambi i casi la luce ha detronizzato il riferimento del pianeta Terra: in passato il metro fu la decimilionesima parte dell’ arco di meridiano che va dal Polo all’ equatore ed il secondo (1/86400 = 60∙60∙24) della durata del giorno solare medio. Tempo e spazio si intrecciano nelle misure astronomiche. L’ anno luce è l’ unità di lunghezza: 299762,458 Km/s ∙ 365,25 d ∙ 86400 s/d = 9,461∙ 1012 Km, cioè 9461 miliardi di Kilometri o circa 63241 volte la distanza fra Terra e Sole. La distanza che la luce percorre in un anno, circa diecimila miliardi di Kilometri. Dalla Terra alla stella più vicina ( Alpha Centauri) vi son 4 anni luce, da noi alla frontiera dell’ universo conoscibile quattordici miliardi.

Le distanze, cioè le misure di lunghezze, sono ormai misure di tempo anche nella vita quotidiana. Il navigatore che ci guida in auto con i Gps- Global Positioning System – stabilisce la nostra posizione grazie ad orologi atomici a bordo dei satelliti ed al tempo che i loro segnali luminosi elettromagnetici impiegano per raggiungere il nostro ricevitore.

La radiazione elettromagnetica e la velocità della luce sono alla base dello intero sistema orologi atomici e trasmissione dati. Spaccare il secondo nelle varie parti è solo un modo di dire. All’ Istituto nazionale di ricerca metrologica di Torino (INRIM) lo spaccano in 400 milioni di miliardi di parti. Questa oggi è la frontiera della misura del tempo. Siamo in un campo suggestivo per i suoi aspetti filosofici e per vari motivi pratici. A parte l’ orologio che portiamo al polso, che ha la precisione del secondo, in ogni istante a nostra insaputa molti comportamenti quotidiani esigono misure di tempo precise al nanosecondo, che è il miliardesimo di secondo. Quanto agli scienziati, nel mondo della fisica astronomica e delle particelle, devono regolare al nanosecondo per pilotare sonde nello spazio, studiare particelle subatomiche con le loro caratteristiche e decadimenti, spiano i segnali di remote galassie raccolti da radiotelescopi sparsi in continenti diversi, mettere alla prova la relatività di Einstein. In un nanosecondo la luce come fotoni percorre trenta centimetri, un aereo percorre meno di un millesimo di millimetro. I fisici non trattano quantità infinitamente grandi ed infinitamente piccole; il tempo più piccolo esistente detto **tempo di Planck** , l’ atomo di tempo, vale circa 5∙ 10-44 secondi, cioè mezzo decimilionesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo.

Il progresso degli orologi scandisce il cammino delle civiltà : meridiane, clessidre, “cronometri” Basati sul consumo di una candela, pendoli, bilancieri, oscillatori al quarzo, ed infine orologi atomici, dove ad oscillare sono elettroni di atomi di cesio, rubidio, idrogeno. In futuro vibreranno nuclei atomici, non elettroni: saranno orologi a stato solido e li collegheremo con fibre ottiche. Gli atomi di cesio degli orologi atomici oscillano, come si è detto, 9192631770 volte al secondo, cioè con una frequenza di circa 9 GHz. Siamo nella banda delle microonde, ad una frequenza di poco superiore a quelle utilizzate dai forni scaldavivande e dai telefoni cellulari. Con la luce visibile abbiamo la frequenza che vanno da 400THz per il rosso a 800 THz per il violetto. Un orologio che lavori a frequenze ottiche può scandire 10-18 secondi, un intervallo di tempo mille volte più piccolo di quello degli orologi attuali. In laboratorio questo traguardo è a portata di mano, in futuro diventerà uno standard abituale,

1. **La luce è veloce. Ma quanto ?**

Nell’ identikit della luce intesa come l’ insieme delle radiazioni elettromagnetiche, **onde radio, infrarosso, visile, utltravioletto, X, gamma,** variano semplicemente la lunghezza d’ onda e l’ energia, ma nel vuoto la velocità è sempre quella. E’ una velocità **limite e costante :** questa coincidenza ispirò Paul Karl Drude nel 1894 ad introdurre nelle formule di Maxwell il simbolo c(celeritas), per indicare la velocità della luce.

Galileo Galilei non credeva all’ infinità della velocità della luce. Provò quindi a misurarla con un esperimento: spedì un allievo su una collina con una lanterna, lui andò su un’ altura lontana un miglio portandone con sé un’ altra. Le accesero e ble coprirono con un drappo. Quando Galileo scopriva la sua, l’ allievo, dopo un intervallo di tempo, doveva fare altrettanto. Essendo tuttavia limitati i riflessi, mentre la luce impiegava un centomillesimo di secondo ad andare e venire tra le due colline, la loro reazione richiedeva mezzo secondo, un tempo cinquantamila volte più lungo. E’ un esperimento concettuale come tanti altri descritti da Galileo, con un altro pezzo del pensiero aristotelico che era messo in dubbio. Non furono le lanterne a fornire la prima misura realistica della velocità della luce ma le lune di Giove di Galileo aveva scoperto nel 1610. Galileo aveva avuto una buona bidea per5 misurare la longitudine : usare come cronometro le eclissi delle lune di Giove. L’ uscita dei satelliti dell’ ombra il pianeta era come un cronometro a disposizione dei naviganti, dovunque si trovassero. Occorrevano però ottime effemeridi, cioè accurate previsioni del moto dei satelliti giovani e quelle disponibili non erano abbastanza precise. Finalmente nel 1693 Gian Domenico Cassinis, astronomo ligure emigrato a Parigi, ottenne effemeridi abbastanza precise da rendere possibile l’ applicazione nautica sia pure con molte difficoltà nell’ osservare i satelliti. Il lavoro di Carissimi era così ben fatto che ne uscì confermata al di là di ogni dubbio un ‘ anomalia già nota : periodicamente si registrava in ritardo di alcuni minuti nel verificarsi delle eclissi. Jean Picard suggerì che il ritardo dipendere dalla velocità della luce e lo fece pur essendo un sostenitore della propagazione a velocità infinita di Cartesio. Un suo collaboratore, il danese Ole Romer, fin dal 1675 aveva compreso che quel ritardo era dovuto alla velocità finita della luce : l’ eclisse si verificava puntualmente, non quando la distanza tra Giove e Terra aumentava ci voleva più tempo perché la luce del satellite emerso dall’ ombra del grande pianeta potesse arrivare fino a noi. Per un osservatore posto a Giove il fenomeno avviene ad intervalli di tempo pari al periodo T di rivoluzione del satellite : per un osservatore che si trova sulla Terra, l’ intervallo tra due eclissi successive sarà invece maggiore o minore di T a seconda che la Terra si sta allontanando o avvicinando rispetto a Giove. Consideriamo, in particolare, la fase di allontanamento, durante la quale la Terra si muove dal punto A al punto B. Poiché in questo arco di tempo, pari a sei mesi, la variazione della posizione di Giove è trascurabile. Possiamo affermare che il cammino percorso dalla luce che vaq da Giove alla Terra si allunga di una quantità Δs, pari al diametro dell’ orbita terrestre (3∙ 1011 metri) . Pertanto il tempo impiegato aumenta di una quantità Δt, pari a Δs/c, ove c è la velocità della luce. Dalle considerazioni segue allora che Δt è pari alla somma dei ritardi di ciascuna eclisse rispetto alla precedente nell’ arco dei sei mesi e dalla misura di questa somma, noto Δs, si può ricavare c. Romer trovò per Δt il valore di 1,5∙ 103 secondi. Quindi c = (Δs/t) = 2∙ 108 m/s. In seguito misure più precise di Δt portarono al valore: c = 3∙ 108 m/s molto vicino a quello oggi accettata. Con questa scoperta cadevano gli ultimi dogmi della scienza antica classica. La definitiva controprova della velocità finita della luce giunse inaspettata nel 1728 con le osservazioni di James Bradley : cercando ( invano) di misurare la parallasse di una stella, l’ astronomo inglese vsi imbattè nel fenomeno dell’ aberrazione della luce, una deviazione sistematica nella posizione delle stelle dovuta al combinato disposto del moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole e della velocità finita della luce.

Seguirono misure dirette. Nel 1849 Hyppolyte Fizeau ci provò inviando un raggio di luce tra il terrazzo della casa dei suoi genitori a Suresmes e Montmartre, distanti 8633 metri. L’ apparecchiatura escogitata funzionava grazie ad una ruota con 720 denti ed uno specchio rotante. La prima scomparsa del raggio si verificò quando la ruota dentata raggiunse i 12 giri e mezz o al secondo. Ne veniva fuori una velocità della luce di 315300 chilometri al secondo, risultato abbastanza lontano dal vero.

Nell’ apparecchio di Fizeau un raggio luminoso passa fra i denti di una ruota dentata R che ruota con velocità angolare ω, viene riflesso da uno specchio S posto a distanza l dalla ruota e ritorna al punto di partenza. Se ω è abbastanza grande, il raggio di ritorno viene intercettato dal dente che segue il foro attraverso il quale il raggio è passato all’ andata. In queste condizioni il tempo impiegato dalla luce a percorrere due volte la distanza l è uguale al tempo impiegato dalla ruota a percorrere l’ angolo Δθ, pari alla distanza angolare fra il centro di un foro ed il centro di un dente. Detto Δt questo tempo, deve valer la relazione.: **Δt = Δθ/ω = (2∙l)/c .** Da cui si ottiene :  **c = (2∙ω∙l)/Δθ.**  Il valore ottenuto daFizeau fu 3,133∙108 m/s, leggermente superiore ai valori di Romer e Bradley.

Venne richiesto a Foucault da parte di scienziati dell’ epoca una più accurata determinazione con metodo diretto; Foucault mise a punto un esperimento che aveva progettato già nel 1850. Da un lato, una ruota dentata con 400 denti interrompeva ad intervalli di tempo regolari un raggio di luce, dall’ altro uno specchio ruotava a 400 giri/s. Variando la velocità dei rotazione, si otteneva una situazione nella quale il tempo di andata e ritorno della luce coincideva con lo spostamento di un dente e l’eclisse del raggio: dalla distanza tra specchio e ruota dentatasi deduceva la velocità della luce.

Foucault perfezionò il metodo di Fizeau sostituendo alla ruota dentata uno specchio ruotante. Nell’ apparecchio di Foucault , il raggio di luce, riflesso dallo specchio rotante Sr, verso lo specchio lontano S, ritorna in Sr. Sr nel frattempo è ruotato di un angolo α =ω∙Δt e pertanto il raggio, dop lke successive riflessioni, giunge in un punto B leggermente scostato dal punto di partenza A. La misura della distanza tra A e B permette di ricavare α e da questo, nota ω, si ottiene Δt, che è il tempo impiegato dalla luce a percorrere per due volte la distanza l. Con questo metodo Foucault trovò il valore di c pari a 2.98 ∙ 108m/s.All’ inizioFoucault ottenne il valore di 308000 Km/s , ma poi il risultato che apparve più arttendibile fu di 298000. Il 22 settembre 1862 Le Vernier, un po’ ottimisticamente, annunciò questo valore come approssimato a 500 Km/s. nel 1872 Alfred Cornu riprese le misure perfezionando la tecnica ed interponendo tra ruota e specchio la distanza di 100 chilometri che supera l’ Ecole Poytechnique ed il Mont Valerien : ricavò così una velocità di 298500 chilometri al secondo.

Specchi rotanti ed interferenza delle onde luminose furono al centro di uno dei più famosi esperimenti di tutti i tempi. : quello con cui Michelson e Morley nel 1887 misero alla prova cruciale il traballante concetto di eter, fantomatico mezzo che si riteneva pervadere l’ universo, considerato necessario per spiegare la propagazione della luce. IL risultato dell’ esperimento fu che la luce non “subiva” nessun mezzo fisico correlato al cambio di direzione del moto della Terra. Le spiegazioni possibili erano tre : 1) la Terra è ferma all’ etere è del tutto improbabile, dato che essa cambia continuamente direzione orbitando intorno al Sole; 2) il braccio dell’ interferometro usato nell’ esperimento si accorcia nella direzione del moto, 3) la velocità della luce èla stessa in tutte le direzioni, non si somma e non si sottrae con quella della Terra. L’Ipotesi audace e controintuitiva che contrastava con la fisica classica di Newton . Albert Einstein optò per la terza soluzione: non c’è etere, la velocità costante della luce è una prova dell’ isotropia dello spazio per tutti gli osservatori. E’ il nucleo della nuova fisica relativistica, per velocità prossime a quella della luce delle particelle del mondo subatomico.

**SITOGRAFIA SULLA VELOCITA’ DELLA LUCE**

1. [**http://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0\_della\_luce**](http://it.wikipedia.org/wiki/Velocit%C3%A0_della_luce)

**(voce dell’ enciclopedia on- line)**

1. [**http://en.wikipedia.org/wiki/Speed\_of\_light**](http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_light)

**( voce completa dell’ encyclopedia inglese)**

1. [**http://www.mi.infn.it/~phys2000/waves\_particles/lightspeed-1.html**](http://www.mi.infn.it/~phys2000/waves_particles/lightspeed-1.html)
2. [**http://www.mi.infn.it/~phys2000/waves\_particles/lightspeed\_evidence.html**](http://www.mi.infn.it/~phys2000/waves_particles/lightspeed_evidence.html)

**( sito INFN fisica delle onde su misura velocità luce)**

1. [**http://www.speed-light.info/measurement.htm**](http://www.speed-light.info/measurement.htm)

**( sito con la descrizione tecnica delle misure della velocità della luce)**

1. [**http://www.science.unitn.it/~mostre/Laser/misfou.html**](http://www.science.unitn.it/~mostre/Laser/misfou.html)

**( sito con descrizione esperienza tipo Foucault)**

1. [**https://www.google.it/search?hl=it&q=metodo+dello+specchio+rotante&gbv=2&sa=X&oi=image\_result\_group&ei=zPQ1VbiONs3maN\_kgMAJ&ved=0CDAQsAQ&tbm=isch**](https://www.google.it/search?hl=it&q=metodo+dello+specchio+rotante&gbv=2&sa=X&oi=image_result_group&ei=zPQ1VbiONs3maN_kgMAJ&ved=0CDAQsAQ&tbm=isch)

**( sito con raccolta dimostrativa delle tecniche di misura della velocità luce)**

1. [**http://www.scientic.fauser.edu/luce/scientic/velocita/velocita.htm**](http://www.scientic.fauser.edu/luce/scientic/velocita/velocita.htm)

**( voce sulla misura della velocità della luce dall’ enc. On line )**

1. [**http://www.fisicamente.net/FISICA/index-37.htm**](http://www.fisicamente.net/FISICA/index-37.htm)

**( voce sulla misura velocità della luce su sito fisicamente)**