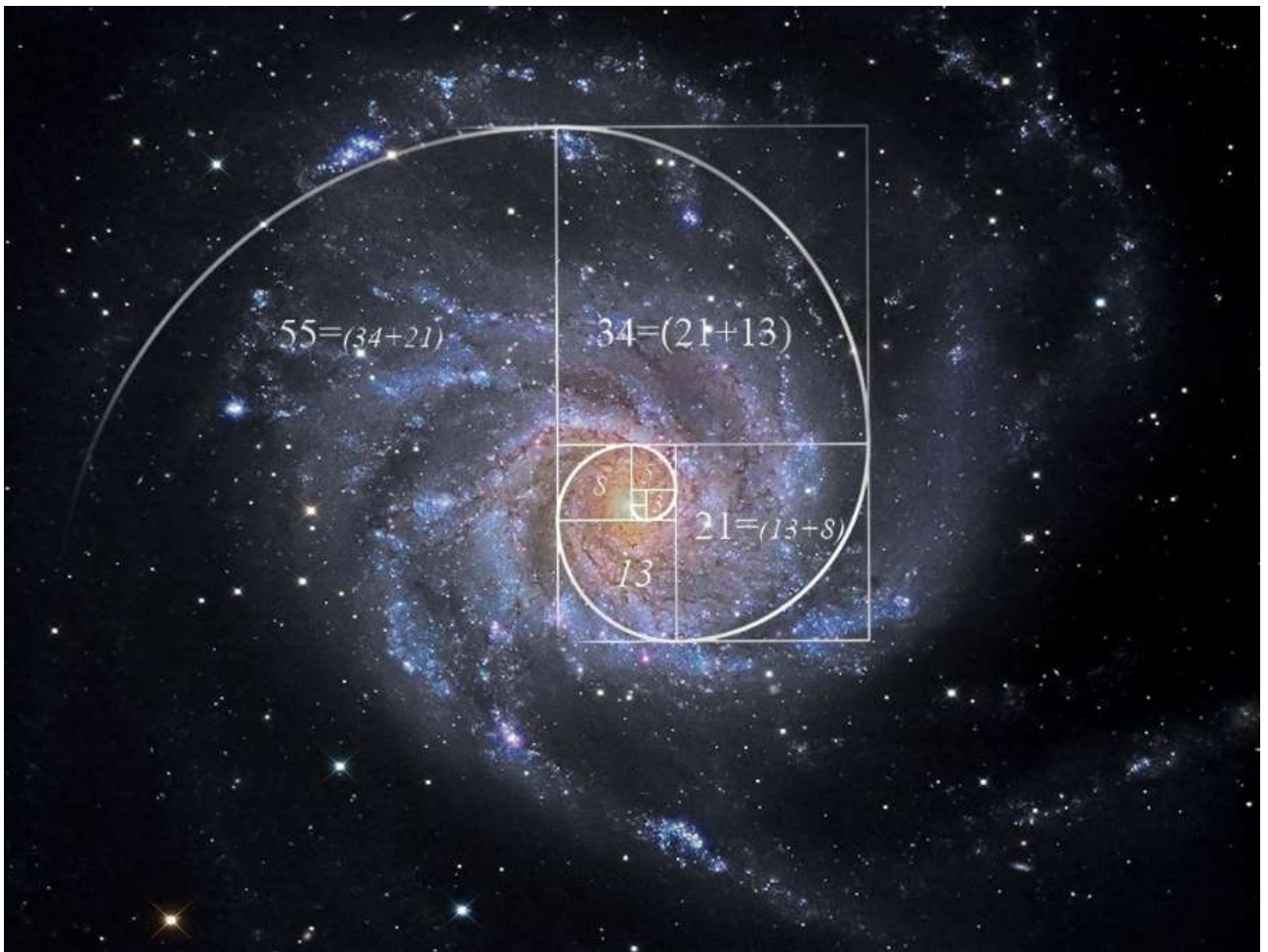


# CRITERI DI ORDINE

Τὸ γὰρ μὴ τυχόντως ἀλλ' ἔνεκά τινος ἐν τοῖς τῆς φύσεως ἔργοις ἐστὶ καὶ μάλιστα.

Non infatti il caso, ma la finalità è presente nelle opere della natura, e massimamente.

Aristotele



Anna Galetti  
Classe 5<sup>a</sup> C  
A.s. 2015/2016  
Liceo Classico Alexis Carrel

# Sommario

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>CRITERI DI ORDINE IN FILOSOFIA .....</b>	<b>4</b>
<b>I CRITERI DELL'ORDINE IN MATEMATICA E FISICA .....</b>	<b>7</b>
MATEMATICA: LE CURVE CONICHE .....	7
FISICA: LE EQUAZIONI DI MAXWELL .....	10
LA RICERCA FISICA SULLA TEORIA DEL TUTTO .....	13
<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA .....</b>	<b>19</b>

## INTRODUZIONE

In questa tesina ho ritenuto mostrare il tentativo dell'uomo di trovare un criterio che possa ordinare tutta la realtà. Tutto è nato a seguito di un tentativo personale di ricercare una funzione matematica che potesse esprimere la metrica latina e greca: la bellezza e la musicalità della metrica, legate al ritmo, possiedono infatti un'armonia matematica.

Durante l'anno scolastico appena trascorso ho potuto appurare che la mia stessa ricerca, ovvero trovare un criterio di ordine razionale per la realtà, è stata affrontata da molti uomini in vari ambiti di studio, specialmente durante il XIX secolo. Questa ricerca è massimamente presente in filosofia e nelle scienze. Questa scoperta mi ha portato a concentrare la mia attenzione su queste discipline che tanto mi promettevano. Ho iniziato così a cercare di comprendere sempre meglio il modo con cui ciascuna di esse si è mossa nel tentativo di ricercare un criterio di ordine. Ho potuto così scoprire innanzitutto che dovevo distinguere i diversi tentativi.

Se in un primo momento ero convinta che la ricerca di un criterio di ordine rimanesse invariata nei diversi ambiti ad essa interessati ho dovuto poi ricredermi, altro è la ricerca filosofica, altro quella scientifica.

Per quello che ho potuto capire in questi anni la filosofia indaga l'uomo e la realtà tutta ricercandone il senso. Quando il tentativo di ricercare un criterio ordinatore è stato preso realmente sul serio ed è stato assottigliato ho potuto constatare che tale ricerca ha fatto dimenticare o distorcere la domanda di partenza, la domanda sul senso che spesso deve avere a che fare con ciò che disordinato è.

Per questo accennerò al tentativo di alcuni filosofi dell'Ottocento di scoprire un senso ordinato della realtà e lo farò portando come esempi Hegel, massimo filosofo idealista, e Comte, ideatore della filosofia positiva.

D'altra parte però se si cambia ambito di studio, e ci si riferisce alle cosiddette scienze, in particolare la matematica e la fisica, avendo esse come oggetto di studio elementi razionali, l'esito è differente. Come afferma Popper infatti, il metodo scientifico che queste discipline devono utilizzare serve per "falsificare" una teoria, ovvero confutarla nella realtà.

Per comprendere cosa sia un criterio di ordine proporrò innanzitutto un esempio matematico di riunificazione del concetto di coniche, attraverso la ridefinizione di direttrice e eccentricità.

Un secondo esempio riguarda l'unificazione dei fenomeni elettrici e di quelli magnetici operata da Maxwell nella seconda metà del 1800 con l'elettromagnetismo, sintetizzato matematicamente in 4 equazioni che governano tutte le interazioni elettromagnetiche della materia.

Questa scoperta, insieme ad altre, ha alimentato la speranza di riordinare unitariamente i 4 tipi di forze della fisica: gravitazionali, elettromagnetiche, nucleari deboli e nucleari forti.

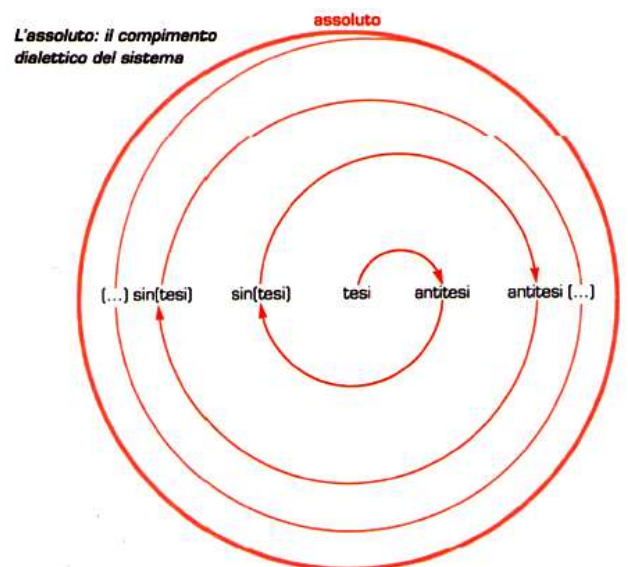
Per questo il sogno della fisica moderna è quello di trovare una teoria unica – La Teoria del tutto – in grado di spiegare unitariamente tutti i fenomeni fisici. Una delle ipotesi più accreditate in questo senso è la "teoria delle stringhe" fondata sull'ipotesi che alla base della materia vi siano filamenti di energia che vibrando con frequenze differenti diano origine alle diverse particelle di materia.

## CRITERI DI ORDINE IN FILOSOFIA

In estrema sintesi un criterio di ordine non è altro che un modo di guardare un oggetto di studio, concreto o astratto, che ne sappia leggere caratteristiche comuni ad altri oggetti, così che possano essere reinterpretati unitariamente.

Hegel (Stoccarda 1770, Berlino 1831) è colui che ha portato a compimento le teorie degli idealisti e ne ha dato una forma finale ben precisa. L'idealismo nasce in opposizione al pensiero di Kant secondo cui esiste una parte di realtà che noi non possiamo conoscere, chiamata da Kant "noumeno". La filosofia hegeliana ruota attorno alla celeberrima affermazione enunciata nei Lineamenti di Filosofia del diritto: "ciò che è razionale è reale, ciò che è reale è razionale"; tale principio annuncia e sintetizza il cuore della ricerca di Hegel ovvero mostrare una completa coincidenza tra realtà e razionalità. La razionalità è un Soggetto spirituale che si fa res (realizza).

Per mostrare come l'Assoluto sia l'insieme ordinato di tutte le determinazioni, Hegel utilizza una legge razionale: la dialettica. Questa legge si sviluppa in un movimento triadico necessario di tesi, antitesi e sintesi: ecco il suo criterio di ordine. La tesi è l'affermazione dell'Idea, l'antitesi è invece la negazione della stessa; la sintesi è la tesi arricchita dell'antitesi, come indica semanticamente anche il verbo tedesco da lui utilizzato, "*Aufheben*" che significa "togliere" e allo stesso tempo "conservare". Ogni sintesi diventa la tesi di un'altra antitesi, e per questo motivo potrebbe sembrare che la dialettica sia un percorso senza un termine: in realtà la dialettica ha una sintesi finale, perciò questo sistema è chiuso e non aperto.



Per capire come il processo dialettico sia chiuso si può prendere in esame il percorso compiuto da Hegel stesso nel sua opera "Enciclopedia delle scienze filosofiche", un testo tripartito in Logica, Filosofia della Natura e Filosofia dello Spirito. La Logica studia l'Idea in sé, mentre la Filosofia della Natura si occupa dell'alienazione dell'Idea nella Natura. Ma questi due fenomeni non sono altro che due aspetti separati di un tutto, ovvero dello Spirito Assoluto, il quale è l'Idea in sé e per sé.

Lo sviluppo dello Spirito avviene in tre momenti: Spirito Soggettivo, ovvero lo Spirito individuale che emerge pian piano dalla natura; lo Spirito Oggettivo, ovvero l'esprimersi dello spirito nelle istituzioni sociali; e infine lo Spirito Assoluto è l'apice di tutto il sistema hegeliano, perché l'Idea giunge alla consapevolezza di sé.

La dialettica hegeliana è un criterio di ordine poiché riesce a riunificare tutta la realtà e a trovarne un punto sintetico che la contiene, ovvero lo Spirito Assoluto.

Anche Comte (Montpellier 1789, Parigi 1857), padre del positivismo, individua un criterio di ordine. Secondo il pensiero comtiano infatti ogni branca della conoscenza passa necessariamente attraverso tre stadi differenti: lo stadio teologico o fittizio, quello metafisico o astratto, e infine quello scientifico o positivo.

"Studiando così lo sviluppo totale dell'intelligenza umana in tutte le sue diverse sfere di attività, dal suo primo più semplice moto sino ai nostri giorni, credo di aver scoperto una grande legge fondamentale, alla quale è soggetto per una necessità invariabile, e che mi sembra possa essere saldamente stabilita, sia sulle prove

razionali fornite dalla conoscenza della nostra organizzazione, sia sulle verifiche storiche che risultano da un esame attento del passato"<sup>1</sup>.

Attraverso questa legge egli mostra come non sia possibile conoscere il fine dell'universo. Nello stadio teologico infatti l'uomo cerca conoscenze assolute, ovvero le cause prime e finali; nello stadio metafisico questa ricerca si volge a un'astrazione poiché si credeva che i fenomeni fossero prodotti da enti soprannaturali mentre ora vengono ricondotti a forze astratte. Lo stadio positivo invece avviene quando l'uomo prende coscienza del fatto che non può ambire a conoscenze assolute e neanche a raggiungere il possesso di cause prime.

Secondo Comte tutte le scienze hanno seguito questo percorso, e sono giunte allo stadio positivo in questo ordine: astronomia, fisica, chimica, biologia. Per portare a compimento la filosofia positiva occorre che anche la fisica sociale raggiunga questo stadio.

L'importanza della filosofia positiva viene perfettamente enucleata da Comte in questo giudizio "Vediamo, da quanto precede, che il carattere della filosofia positiva è quello di considerare tutti i fenomeni come soggetti a leggi naturali invariabili, la scoperta precisa e la riduzione al minor numero possibile delle quali sono lo scopo di tutti i miei sforzi, considerando come assolutamente inaccessibile e vuoto di senso per noi la ricerca di quelle che si chiamano cause, sia prime che finali." <sup>2</sup>

Come mostra Friedrich A. von Hayek, Comte e Hegel hanno molto in comune poiché per entrambi "l'obiettivo essenziale di ogni studio della società dev'essere quello della costruzione di una storia universale di tutto il genere umano, intesa come schema dello sviluppo necessario dell'umanità secondo leggi prestabilite." <sup>3</sup>

Ho potuto accorgermi di come in filosofia la pretesa di un sistema che veda l'uomo come semplice parte necessaria di un tutto corre il rischio di privarlo della sua peculiare caratteristica, che è la libertà. Questo è il motivo per cui una ricerca buona di per sé, ovvero quella di tentare di trovare un senso ordinato di ciò che esiste, può cadere nella creazione di un'ideologia se si antepone la propria idea razionale e necessaria di realtà alla realtà concreta. Questo rischio è oggetto di riflessione di H. Arendt: "Un'ideologia è letteralmente quel che il suo nome sta a indicare: è la logica di un'idea. L'ideologia tratta il corso degli avvenimenti come se seguisse la stessa "legge" dell'esposizione logica della sua "idea". Essa pretende di conoscere i misteri dell'intero processo storico- i segreti del passato, l'intrico del presente, le incertezze del futuro- in virtù della logica inerente alla sua idea. Si suppone che il movimento della storia e il processo logico del concetto corrispondano l'uno all'altro, in modo che quanto avviene, avviene secondo la logica di un'"idea"<sup>4</sup>.

Ho avuto modo di scoprire come, a sua volta, l'ideologia se applicata alla realtà diventa totalitarismo. T. Todorov afferma che una delle origini del totalitarismo è stata lo scientismo: "Il punto di partenza dello scientismo è un'ipotesi sulla struttura del mondo: quest'ultimo è interamente coerente. Di conseguenza, esso può essere conosciuto dalla ragione umana senza residui. Il mondo è trasparente, la sua conoscenza integrale è quindi possibile. Il compito di tale conoscenza è affidato alla pratica appropriata, chiamata scienza. Nessun frammento del mondo, materiale o spirituale, animato o inanimato, sfugge all'influenza della scienza. Da questo primo postulato deriva una conseguenza evidente. Se la scienza degli uomini è in grado di svelare tutti i segreti della natura, se essa consente di ricostruire connessioni che conducono a ogni singolo fatto, a ogni singolo essere, allora dovrebbe essere possibile modificare questi processi, orientarli nella direzione

---

<sup>1</sup> Auguste Comte, *Corso di filosofia positiva*, prima lezione, in A. Negri, *Positivismo europeo*, Le Monnier, Firenze 1981, pp. 51-3; 56-60.

<sup>2</sup> Auguste Comte, *Corso di filosofia positiva*, prima lezione, in A. Negri, *Positivismo europeo*, Le Monnier, Firenze 1981, pp. 51-3; 56-60.

<sup>3</sup> Friedrich a. von Hayek, *L'abuso della ragione*, Rubbettino, Soveria Mannelli 2008, pp. 342-61, *passim*.

<sup>4</sup> Hanna Arendt, *Le origine del totalitarismo*, Edizioni di Comunità 1997 (2), pp. 641-7, *passim*.

auspicata [...] Se la trasparenza del reale viene estesa al mondo umano, niente impedisce di sognare la creazione di un uomo nuovo, di una specie liberata dalle imperfezioni della specie iniziale"<sup>5</sup>.

Interessante notare come Marx affermi: "Per il fondamento, il mio metodo dialettico, non solo è differente da quello hegeliano, ma ne è anche direttamente l'opposto. Per Hegel il processo del pensiero, che egli trasforma addirittura in soggetto indipendente col nome di Idea, è il demiurgo del reale, che costituisce a sua volta solo il fenomeno esterno dell'idea o del processo del pensiero. Per me, viceversa, l'elemento ideale non è altro che l'elemento materiale trasferito e tradotto nel cervello degli uomini"<sup>6</sup>. Marx, nonostante volesse prendere le distanze dall'Idealismo, ne ripropone un'altra versione. Ritengo che esemplifichi bene ciò che afferma Todorov: egli è convinto che la storia segua leggi razionali, più precisamente la storia segua leggi economiche ben precise e conoscibili dall'uomo, motivo per cui è possibile conoscere cosa accadrà necessariamente dal punto di vista storico. Questa idea sta alla base della Rivoluzione comunista e alla base dal comunismo di Lenin e Stalin.

K. Popper in "Congetture e confutazioni" tratta della differenza tra teorie scientifiche e "pseudoscientifiche": queste ultime pretenderebbero di far rientrare qualsiasi fenomeno all'interno della loro logica. Infatti paragonando le nuove ipotesi portate da Einstein a quelle di Marx, Freud e Adler si rese conto che queste ultime non lo convincevano e comprese che quello che poteva apparire come il loro punto di forza in realtà si rivelava come loro debolezza: tutto ciò che accadeva sembrava rendere ragione a esse e questo era il motivo per cui avevano molto seguito; al contrario Einstein doveva confutare le proprie teorie per mostrarne la veridicità: "Si tratta di una situazione completamente differente da quella prima descritta, in cui emergeva che le teorie in questione erano compatibili con i più disparati comportamenti umani, cosicché era praticamente impossibile descrivere un qualsiasi comportamento che non potesse essere assunto quale verifica di tali teorie. [...] Si può riassumere tutto questo dicendo che il criterio dello stato scientifico di una teoria è la sua falsificabilità, confutabilità, o controllabilità"<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> T. Todorov, *Il secolo delle tenebre*, in M. Flores (a. c. di), *Storia, verità e giustizia. I crimini del XX secolo*, Bruno Mondadori, Milano 2001, pp. 1-8.

<sup>6</sup> Karl Marx, *Il Capitale*, libro I, "Poscritto" alla seconda edizione.

<sup>7</sup> Karl Popper, *Congetture e confutazioni*, Il Mulino, Bologna 1972.

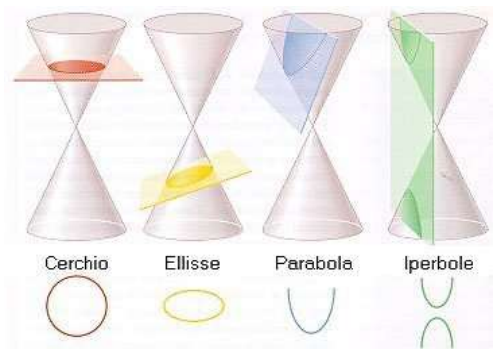
## I CRITERI DELL'ORDINE IN MATEMATICA E FISICA

Al contrario della filosofia, in matematica e fisica l'oggetto di studio è prettamente razionale, nelle oggettività del pensiero astratto o nelle oggettività sperimentali. In questi ambiti trovare un criterio di ordine è possibile e anzi molto auspicabile per la conoscenza e la ricerca. In fondo ogni equazione della matematica e ogni legge della fisica individuano un criterio di ordine di tutti i problemi rappresentabili con quella equazione o gli esperimenti interpretabili con quella legge. Nel presente capitolo intendo proporre un esempio di matematica e qualche riflessione sulle scoperte e ricerche della fisica degli ultimi secoli su alcuni criteri di ordine già individuati o in fase di individuazione.

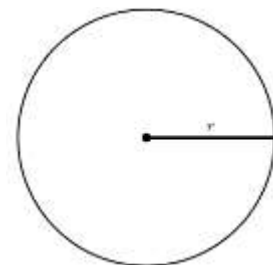
### MATEMATICA: LE CURVE CONICHE

Le curve denominate coniche sono circonferenze, ellissi, parabole e iperboli. La loro prima scoperta è dovuta ad Apollonio di Perga nel 200 a.C. Sono chiamate così proprio perché si ottengono come sezioni piane di un cono circolare retto a due falde. La diversità delle loro forme è dovuta unicamente alla diversità delle mutua inclinazione tra il piano di sezione e l'asse del cono.

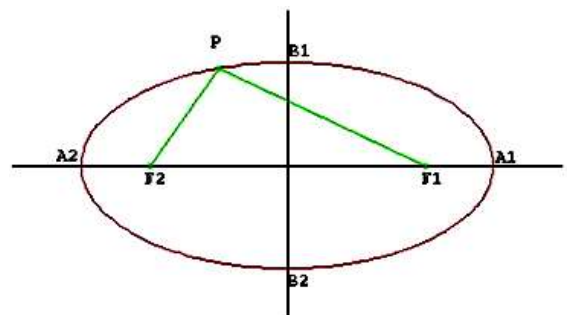
**Le definizioni che la geometria elementare piana dà delle curve però non rendono ragione all'unitarietà della loro individuazione in un ambiente tridimensionale come quello di Apollonio.**



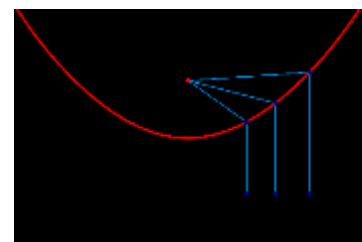
Infatti la circonferenza è il luogo dei punti del piano equidistanti da un punto fisso detto centro.



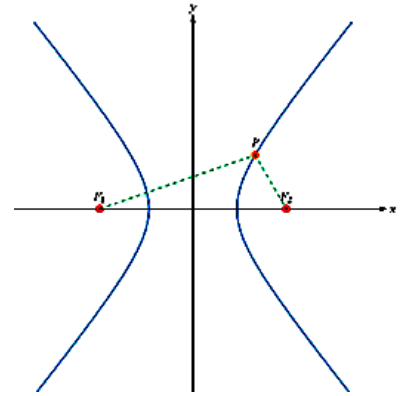
L'Ellisse è il luogo dei punti del piano aventi costante la somma delle distanze da 2 punti fissi, detti fuochi.



La parabola è il luogo dei punti aventi la distanza da un punto fisso, detto fuoco, uguale alla distanza da una retta fissa detta direttrice.



L'iperbole, infine, è il luogo dei punti del piano aventi costante la differenza delle distanze da due punti fissi detti fuochi.



Dunque per la circonferenza non si parla di fuochi; ellisse e iperbole hanno 2 fuochi, la parabola uno solo. La parabola ha una retta direttrice, assente in circonferenza, ellisse e iperbole. Per l'ellisse si parla di una somma di distanze mentre per l'iperbole di differenza e per circonferenza e parabola di uguaglianza. Queste diversità introducono un evidente disordine rispetto all'originale definizione unitaria di Apollonio.

Quando poi, nel XVII secolo l'avvento della geometria analitica permise di dare un volto algebrico a queste definizioni si pervenne alle equazioni canoniche delle curve constatando un elemento di ordine: si tratta sempre di equazioni di 2° grado; ma anche vari elementi di disordine come risulta facile vedere nelle forme delle equazioni:

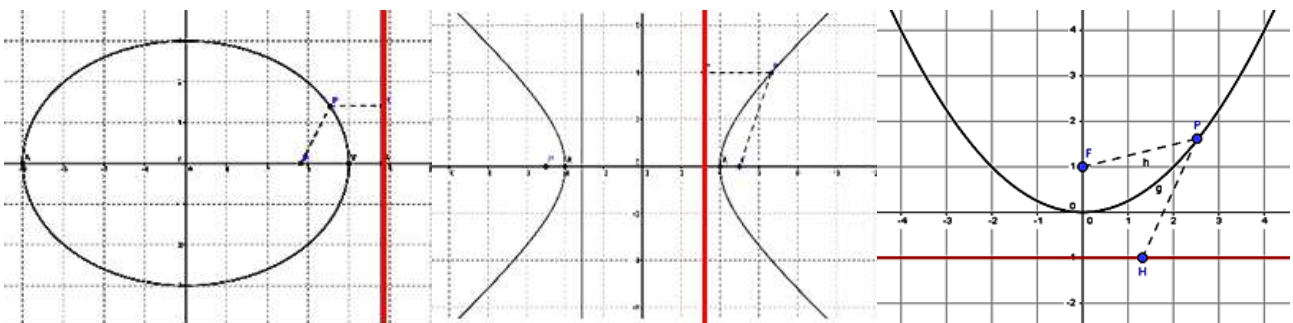
- Circonferenza:  $x^2 + y^2 = r^2$
- Ellisse:  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$
- Iperbole:  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$
- Parabola:  $y = x^2$ , ovvero  $x^2 = y$

In ogni caso viene introdotta la definizione di eccentricità definita come segue:

- La circonferenza ha eccentricità 0;
- L'ellisse e l'iperbole hanno eccentricità pari al rapporto tra la distanza focale e il semiasse su cui giacciono i fuochi;
- La parabola ha eccentricità 1

Proprio per rendere ragione alla natura unitaria di queste curve si è sentito necessario ricomporre le loro definizioni in modo unitario. Tale operazione ha richiesto alcuni passaggi successivi:

- **Sono state introdotte le direttrici per ogni conica. In analogia con la parabola si può definire la direttrice come una retta perpendicolare all'asse focale. La sua posizione si ricava dalla definizione della curva come luogo di punti (vedi sopra).**





- E' stata ridefinita l'eccentricità:  $e = \frac{PF}{PH}$

E' ora possibile ristabilire la definizione delle coniche in modo unitario:

**Le coniche sono dunque il luogo dei punti del piano che hanno rapporto costante delle distanze da un punto fisso detto fuoco e da una retta fissa detta direttrice:  $PF/PH = \text{costante}$ , e questa costante, indicata con la lettera  $e$ , è chiamata eccentricità:**

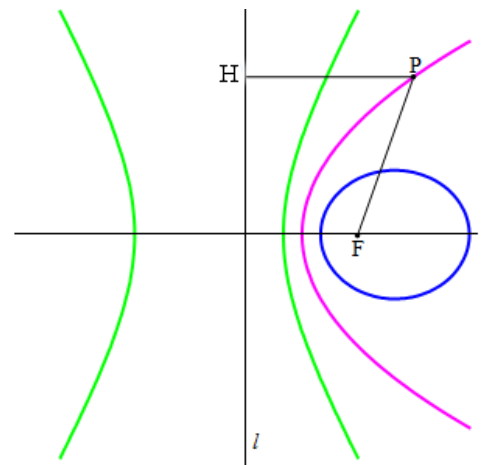
- Se  $e = 0$  la conica è una circonferenza
- Se  $0 < e < 1$  la conica è una ellisse
- Se  $e = 1$  una parabola
- Se  $e > 1$  una iperbole

In questo modo è ristabilita una definizione unitaria sia con il linguaggio dei luoghi di punti, proprio della geometria elementare, sia con il linguaggio algebrico della geometria cartesiana.

Infatti, se ad esempio assumiamo come retta direttrice l'asse  $y$  e poniamo il fuoco in  $(1,0)$ , l'uguaglianza  $e = \frac{PF}{PH}$  assume la

seguinte forma algebrica:  $\frac{\sqrt{(x-1)^2+y^2}}{|x|} = e$  che, elevando al

quadrato (passaggio lecito in quanto nessun termine dell'equazione può essere negativo) e riducendo a forma intera, diventa:  $y^2+x^2(1-e^2)-2x+1=0$ . In questa unica equazione sono rappresentate tutte e tre le coniche, a seconda del valore di  $e$ .

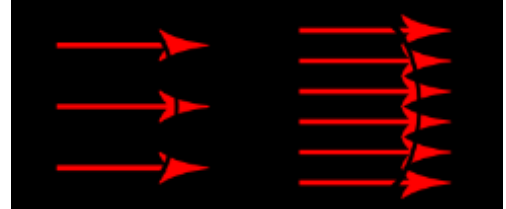


**La ridefinizione di direttrice ed eccentricità ha dunque consentito di introdurre un criterio unitario di ordine nella descrizione e interpretazione delle curve coniche.**

## FISICA: LE EQUAZIONI DI MAXWELL

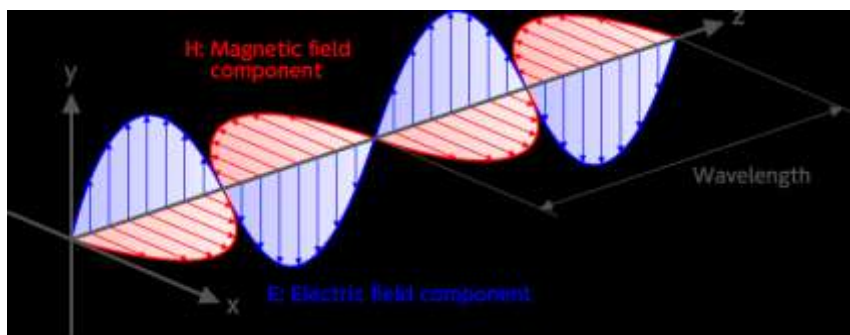
Fino al XIX secolo i fenomeni elettrici e quelli magnetici venivano studiati in campi diversi della fisica. Nei primi decenni del XIX secolo Faraday, Neumann e Lenz avevano studiato l'origine della corrente indotta ed erano giunti alla conclusione che essa è generata dalla variazione del flusso del campo magnetico nel tempo.

Per farsi un'idea intuitiva del flusso si può ricorrere alle linee di forza: il numero delle linee che attraversano una superficie è proporzionale al flusso relativo a tale superficie.



Successivamente Faraday apportò un'ulteriore novità a questi studi: infatti capì che la variazione del flusso del campo magnetico nel tempo non genera semplicemente corrente indotta ma un campo elettrico indotto. Questo nuovo campo elettrico è differente dal campo elettrico precedentemente studiato dalla fisica: mentre il campo elettrostatico è conservativo, e ciò si vede dal fatto che la sua circuitazione è pari a zero su ogni percorso chiuso, il campo elettrico indotto non è conservativo, e dunque la sua circuitazione non è pari a zero per ogni percorso chiuso. Il campo elettrostatico può essere generato da una carica puntiforme o da una distribuzione di cariche nel caso in cui è generato da una carica puntiforme: le linee di campo sono radiali, e si dirigono verso la carica generatrice se essa è negativa, mentre si allontanano da essa se è positiva. Il campo elettrico indotto invece è generato dalla variazione nel tempo del flusso del campo magnetico, le sue linee di campo sono circolari e chiuse su sé stesse. Il campo magnetico può essere generato da magneti che si trovano in natura oppure da un filo percorso da corrente e le sue linee di campo sono chiuse.

**Grazie a queste scoperte Maxwell (Edimburgo 1831, Cambridge 1879) teorizzò per primo che il campo elettrico e il campo magnetico fossero due aspetti simmetrici di una sola entità, il campo elettromagnetico.** La sua teoria infatti ipotizzava che non solo dalla variazione del flusso del campo magnetico si generasse un campo elettrico indotto, ma anche viceversa, ovvero che dalla variazione del flusso del campo elettrico si generasse un campo magnetico indotto. Le linee di campo del campo elettrico indotto sono circolari e perpendicolari al campo magnetico che l'ha generato e il loro verso segue la legge di Lenz della corrente indotta. Essendo fenomeni simmetrici, per Maxwell anche le linee di campo del campo magnetico indotto dovevano essere circolari e perpendicolari al campo elettrico generatore e il loro verso doveva rifarsi alla legge di Lenz.



Maxwell ebbe l'acutezza di comprendere che quando un campo ne genera un altro l'effetto della variazione elettromagnetica non si esaurisce con la variazione che lo ha direttamente causato, ma il campo elettrico e il campo magnetico si propagano nello spazio susseguendosi reciprocamente perché la variazione del flusso di un campo varia genera un campo che varia a sua volta nel flusso, e così via.

**Tutto l'elettromagnetismo fu sintetizzato in quattro equazioni che mostrano la simmetria tra campo elettrico e campo magnetico:** due equazioni relative al flusso e due relative alla circuitazione. Queste equazioni non furono trovate tutte da Maxwell ma erano già state in parte teorizzate precedentemente da altri fisici, egli però comprese che il fenomeno elettromagnetico era descritto completamente da queste:

- $\Phi(\vec{E}) = \frac{Q \text{ interna}}{\epsilon_0}$  *Teorema di Gauss*
- $\Phi(\vec{B}) = 0$  *Teorema di Gauss per il magnetismo*
- $C(\vec{E}) = -\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$  *Legge di Faraday-Neumann*
- $C(\vec{B}) = \mu_0(i_c + \epsilon_0 \frac{\Delta\Phi(\vec{E})}{\Delta t})$  *Legge di Ampere-Maxwell*

Maxwell osservò che la perturbazione elettromagnetica aveva tutte le caratteristiche di un'onda e notò che se la carica generatrice si muoveva di moto periodico anche l'onda elettromagnetica era di conseguenza un'onda periodica. Non solo, attraverso le quattro equazioni dell'elettromagnetismo egli riuscì a calcolare la velocità di propagazione di queste onde, la quale è rappresentata da una relazione con la costante dielettrica nel vuoto e la permeabilità magnetica nel vuoto, che compaiono nelle leggi di Coulomb e Ampere,  $v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ : la scoperta più stupefacente fu che la velocità di propagazione nel vuoto di queste onde è pari alla velocità della luce già nota all'epoca. La luce dunque è una piccola parte dello spettro elettromagnetico: esso è suddiviso in intervalli di frequenza, e quindi di lunghezza d'onda che si raccordano con continuità tra loro.

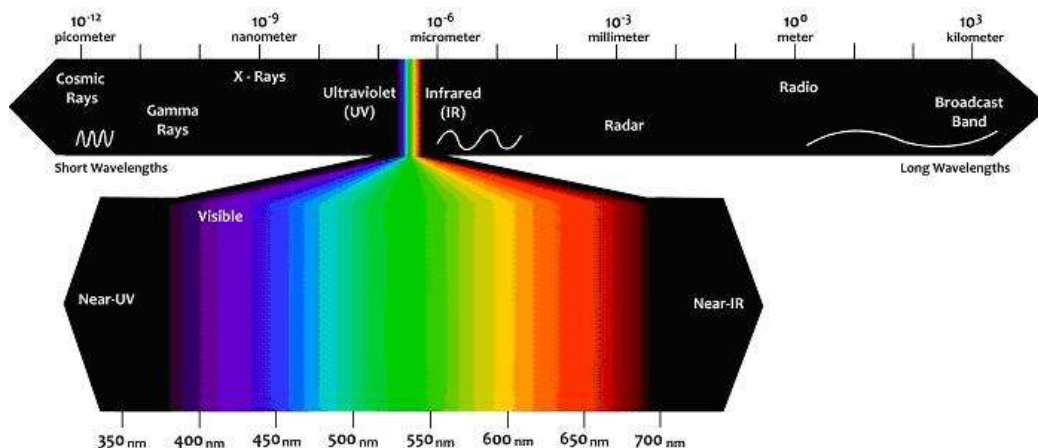


Figura 1: lo spettro della luce

Maxwell non verificò sperimentalmente le sue teorie, ma lo fece Hertz vent'anni dopo, derivando innanzitutto le 4 equazioni con un metodo diverso e riscrivendole in una nuova forma in cui emergesse maggiormente il rapporto tra elettricità e magnetismo. In secondo luogo riuscì a generare onde elettromagnetiche nell'intervallo spettrale delle onde radio e delle microonde, confermando sperimentalmente le previsioni di Maxwell sull'identità di comportamento di queste onde con la luce.

Nelle onde elettromagnetiche i campi elettrici e magnetici che si propagano sono perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onde, per questo sono onde trasversali.

**Maxwell dunque ha trovato il criterio di ordine mettendo in relazione in maniera simmetrica il campo elettrico e il campo magnetico, e grazie a questa geniale intuizione è riuscito a unificare due branche della fisica.**

I fenomeni elettromagnetici sono molto importanti dal momento che ciò che noi possiamo conoscere dell'universo per esempio deriva quasi esclusivamente dallo studio delle onde elettromagnetiche emesse e assorbite dalla materia: infatti così si può scoprire la composizione chimica dei diversi corpi celesti. Di questo si occupa la spettroscopia che è la branca della fisica che studia gli spettri della radiazione elettromagnetica emessa o assorbita dalla materia in modo da individuare la composizione chimica del corpo che ha emesso tale radiazione.

Maxwell dunque ha rivoluzionato la fisica grazie alle sue scoperte che hanno introdotto di fatto un criterio di ordine nel capitolo della fisica che riguarda le forze di natura elettrica e magnetica. Ciò ha alimentato la speranza di trovare una legge che unifichi i 4 tipi di forze della fisica: gravitazionali, elettromagnetiche, nucleari deboli e nucleari forti.

## LA RICERCA FISICA SULLA TEORIA DEL TUTTO

*"A final theory*

*Imagine if there exist a single mathematical principle, that explains all of reality and which cannot itself be reduced to other, deeper principles. The belief that such a principle exist and the quest to find it lies at the heart of modern physics. It is the search for a final theory."*

*Why do we believe that such a principle exist?*

*The reason for this belief is found in the experience gathered by scientists during the last centuries that there is a convergence of explanations, an increase of simplicity in the physical principles that have been found to explain the physical reality, that we observe.*

*Take Maxwells equations as an example. Here the electric and magnetic fields are combined in a set of differential equations that form classical electrodynamics, which describes phenomena such as light and electricity. These equations combine two different phenomena – the electric and magnetic fields – and link them together in a single framework, which immediately opens up doors to completely different and much broader aspects of physics. The mathematical structure of Einsteins special theory of relativity lies dormant in Maxwells equations and with it the seeds for general relativity, which explains the structure of the universe, black holes and the big bang. Equally important are the natural generalisations of Maxwells equations known as Yang-Mills theory, which we today understand as the correct framework to describe both the strong and electro-weak nuclear forces and even gravity. All this and more come out of the unification of the electric and magnetic fields, insights which were not previously available.*

*Another example of convergence of explanations is the periodic table of chemical elements, where the complex properties of the various chemical elements are explained by atomic and nuclear physics.*

*What we see is a fascinating convergence of fundamental principles, where what appears to be arbitrary structures are suddenly understood in terms of simpler mathematical principles. Science is abundant with such examples of convergence of explanations and thus the idea is born that eventually it will be possible to reduce all of it, everything we know about the physical reality, to a single, final mathematical principle.*

*This is a grand aspiration."<sup>8</sup>*

Jesper Møller Grimstrup è un fisico danese in cerca come molti altri fisici della Teoria del Tutto. Questa teoria si basa sull'idea di trovare una sintetica equazione matematica che possa riordinare le quattro forze fondamentali fisiche.

*"General relativity formulates gravitation in terms of space-time curvature and explains the large scale structure of the universe, such as the big bang and the expansion of the universe. The standard model of particle physics explains on the other hand phenomena at the scale of elementary particle and involves the strong, weak and electro-magnetic forces. A final theory must include both of these theories as limiting cases."<sup>9</sup>*

La teoria del tutto, come afferma J. Grimstrup, vuole trovare un legame tra la teoria della relatività generale di Einstein e la meccanica quantistica.

Agli inizi del Novecento Einstein aveva teorizzato nella relatività ristretta che il concetto di tempo è relativo al sistema di riferimento e che nulla può superare la velocità della luce, poiché secondo l'equazione  $E = mc^2$  da lui formulata, all'aumentare della velocità aumenta la massa: più ci si avvicina alla velocità della luce più la massa cresce senza limiti, e quindi sarebbe necessaria una quantità infinita di energia per raggiungere tale velocità. La relatività ristretta però non si concilia con la teoria della gravitazione universale di Newton: la gravità dipende solo dalle masse di due oggetti e dalla loro distanza, ma non dal tempo, perciò se massa o distanza si modificassero il cambiamento della forza gravitazionale si sentirebbe istantaneamente. La

---

<sup>8</sup> <https://jespergrimstrup.org/>

<sup>9</sup> ibid

relatività ristretta non concorda appunto con l'istantaneità. Einstein allora formulò una nuova teoria per la gravità, chiamata relatività generale: egli infatti si accorse che la forza di gravità non è altro che una deformazione della struttura del cosmo. Il cosmo è come una struttura composta da tre dimensioni spaziali e una temporale, chiamata da Einstein stesso spaziotempo: i corpi celesti in essa la deformano dando così origine alla gravità, ovvero una curvatura dello spazio e del tempo. Questa teoria spiega anche la natura dei buchi neri e del Big Bang.

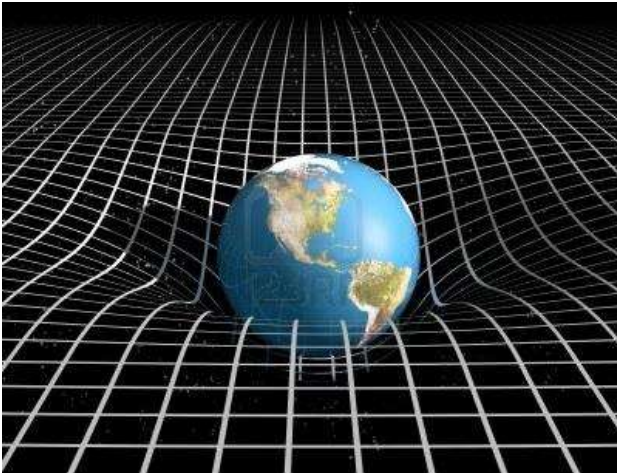


Figura 2

Figura 2: la gravità è una deformazione dello spaziotempo, la struttura del cosmo composta da tre dimensioni spaziali e una temporale.

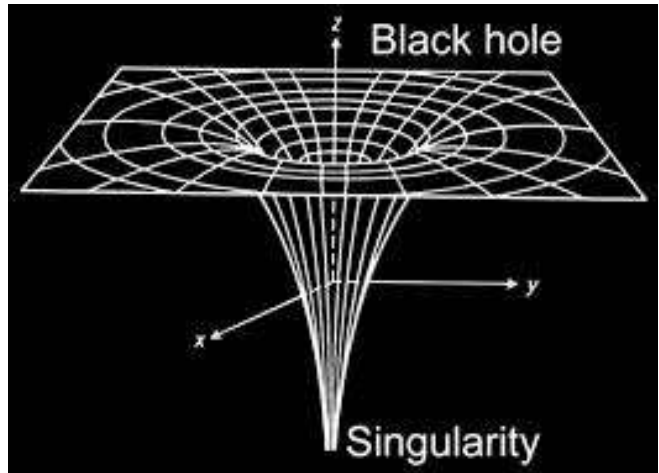


Figura 3

Figura 3: i buchi neri sono delle singolarità nello spaziotempo.

La relatività generale si occupa dei fenomeni macroscopici, ma cosa accade se si osservano i fenomeni microscopici? Esiste ancora l'ordine dello spaziotempo?

Ebbene la differenza sostanziale tra relatività generale e meccanica quantistica, ovvero la fisica che studia i fenomeni microscopici, è il fatto che quest'ultima non possa spiegare tutti i fenomeni in maniera rigorosa ma possa spiegarli soprattutto in termini probabilistici. De Broglie, grazie alla teoria di Einstein sulla duplice natura particellare e ondulatoria della luce, ipotizzò che anche la materia dovesse avere una doppia natura. Questa ipotesi venne confermata da Born: l'onda dell'elettrone deve essere affrontata in termini probabilistici. La probabilità di trovare un elettrone in un luogo preciso dipende dal quadrato dell'ampiezza dell'onda associata: dove l'ampiezza è maggiore, la probabilità aumenta. Secondo Born la natura stessa della materia deve essere letta in termini probabilistici. Poco dopo Schrödinger scoprì l'equazione che governa la forma e il comportamento delle onde di probabilità, ovvero le funzioni d'onda. Negli anni successivi Feynman utilizzando l'esperimento di Young per conoscere la natura ondulatoria dell'elettrone, scoprì che la probabilità che un elettrone arrivi in un punto dello schermo è data dalla somma delle probabilità di tutte le traiettorie possibili dell'elettrone. Ovvero l'elettrone percorre simultaneamente tutte le traiettorie possibili! Se si applicano le leggi trovate da Feynman al

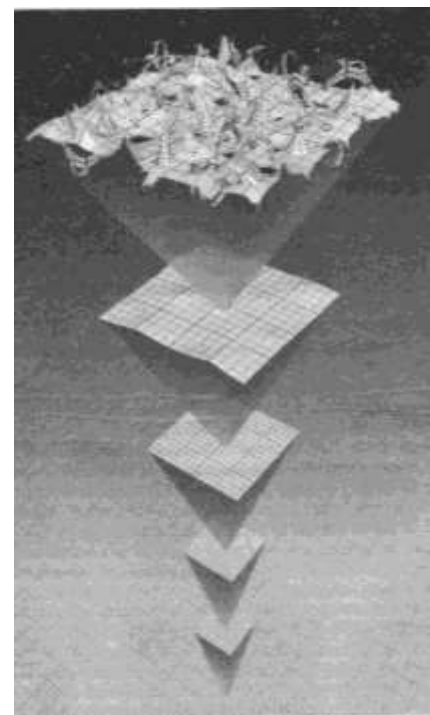
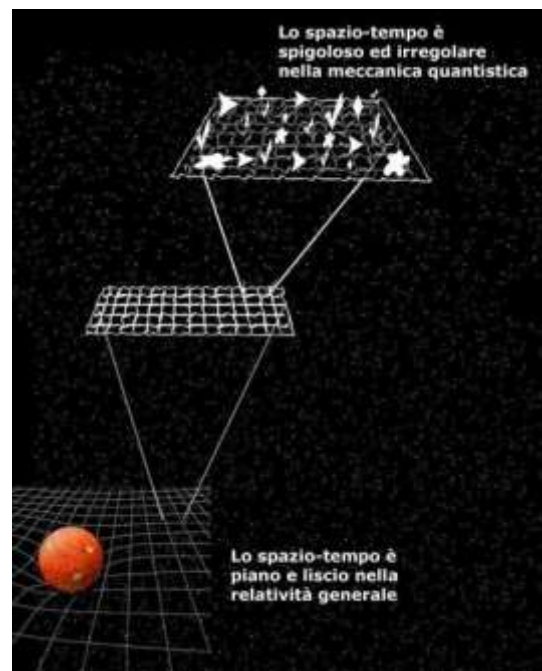


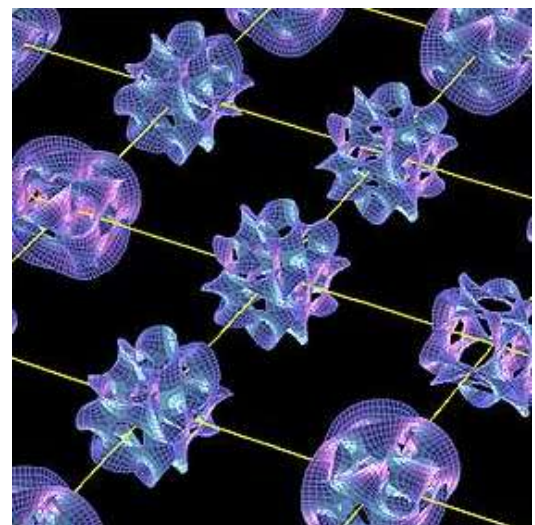
Figura 4: la meccanica quantistica è spiegata soprattutto in termini di probabilità

mondo macroscopico, si annullano tutte le traiettorie tranne una. Per osservare la posizione dell'elettrone, è inevitabile utilizzare dei fotoni, e per questo motivo il moto successivo viene alterato attraverso la perturbazione causata dai fotoni stessi. Planck aveva teorizzato che l'energia di un fotone è proporzionale alla sua lunghezza d'onda, quindi quando il fotone rivela la presenza di un corpo, lo fa con la precisione della sola lunghezza d'onda. In sintesi, se si utilizza una luce ad alta frequenza si riesce meglio a localizzare l'elettrone ma siccome secondo la legge di Planck questa luce ha molta energia, allora disturba maggiormente il moto dell'elettrone. Al contrario se si usa una luce a bassa frequenza, si disturba meno il moto dell'elettrone, ma diventa più difficile la precisione della misura. Questa è l'origine del Principio di indeterminazione di Heisenberg, secondo cui non è possibile definire allo stesso tempo la velocità e la posizione di un elettrone attorno al nucleo.

**Dunque i fenomeni macroscopici seguono leggi fisiche diverse dai fenomeni microscopici. Unificare queste due teorie significherebbe che lo spaziotempo su piccole dimensioni tenderebbe a lacerarsi poiché seguirebbe le leggi della casualità: questo però non avviene.**

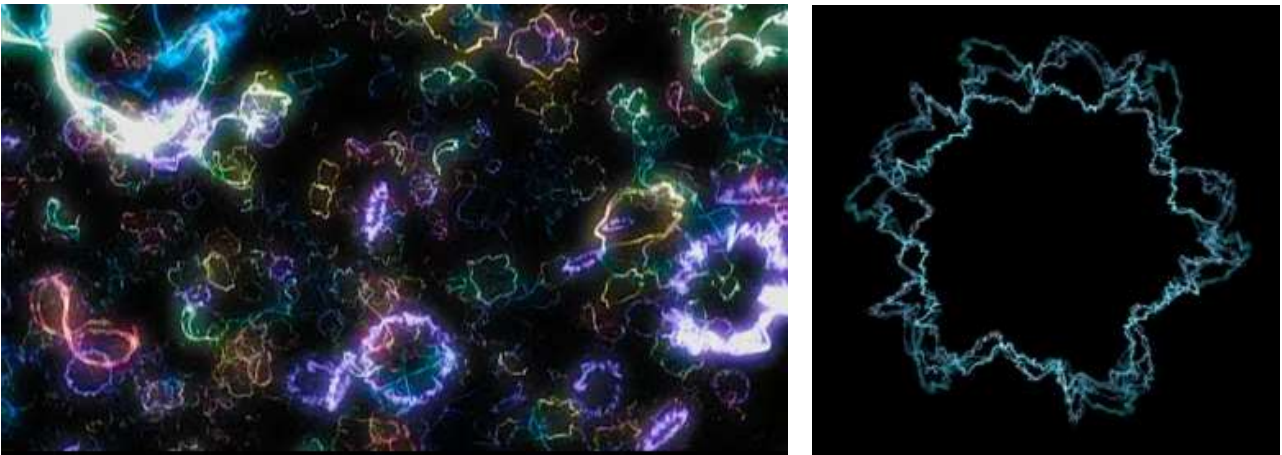


Il problema potrebbe trovarsi nel fatto che noi pensiamo puntiforme lo spazio più piccolo da noi immaginabile. Questo non è necessariamente vero in quanto le dimensioni spaziali potrebbero essere molto più di quelle da noi immaginabili. Il fatto che ci potessero essere molte più dimensioni fu pensato già da Theodor Kaluza e da Oskar Klein per riuscire a dimostrare che l'elettromagnetismo è formato da onde. Successivamente, grazie alle teorie di Einstein sul ripiegamento dello spaziotempo Kaluza e Klein ipotizzarono che le dimensioni non fossero solo lineari e stese ma ci potessero essere anche delle dimensioni piccole e circolari, non osservabili, che avrebbero potuto avere ripercussioni sulla nostra percezione del mondo. Questa dimensione circolare secondo i due fisici si troverebbe in ogni punto dello spazio.



*Figura 5: le dimensioni extra si trovano in ogni punto dello spaziotempo*

L'idea che potessero esserci dimensioni di grandezze diverse come aveva ipotizzato Klein non era applicabile alla vita reale, finché non fu ipotizzata la teoria delle superstringhe che necessitava di più dimensioni di grandezze diverse. **La teoria delle stringhe, divenuta col tempo la teoria delle superstringhe, si propone come una Teoria del Tutto: essa si basa sul fatto che le particelle subatomiche in realtà siano composte da filamenti vibranti di energia e a seconda della frequenza di vibrazione di questi filamenti detti stringhe, da cui il nome della teoria, si determinerebbero le caratteristiche come massa e carica delle diverse particelle che formano la materia.** Per esistere però, queste stringhe necessitano delle dimensioni spaziali extra, ovvero che non ci siano solo tre dimensioni spaziali e una temporale, bensì esistano dieci dimensioni spaziali e una temporale.



*Figure 6 e 7: come apparirebbero le stringhe, filamenti di energia vibranti*

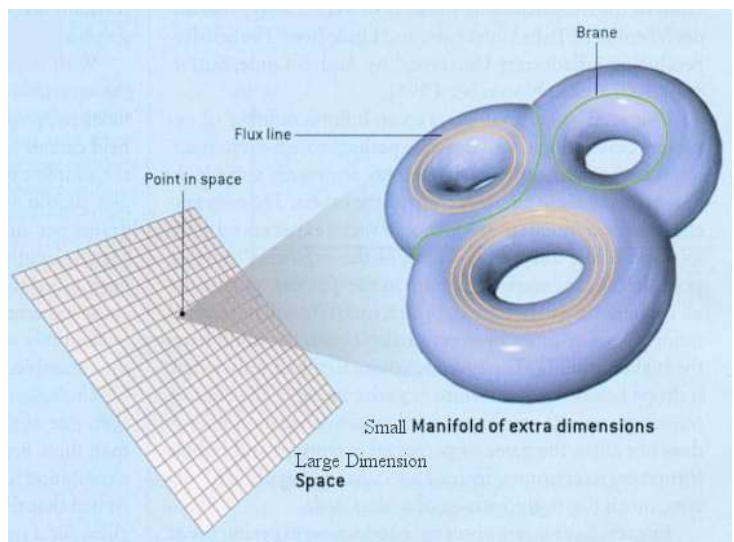
L'importanza delle dimensioni extra sta nel fatto che a seconda di come si intersechino tra di loro influenzerebbero le vibrazioni delle stringhe. Questa potrebbe essere la spiegazione del perché in natura ci sono una ventina di costanti che se cambiassero anche di pochissimo darebbero vita a un universo completamente diverso da quello che conosciamo noi. Infatti le dimensioni extra potrebbero influenzare le stringhe in modo tale che alcune ci appaiano come dei fotoni, altri come elettroni, e così si spiegherebbero le venti costanti fondamentali della natura, come ad esempio la carica dell'elettrone.



Quantity	Symbol	Numerical value	Unit	Relative std. uncert. $u_r$
speed of light in vacuum	$c, c_0$	299 792 458	$\text{m s}^{-1}$	exact
magnetic constant	$\mu_0$	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{N A}^{-2}$	
		$= 12.566 370 614... \times 10^{-7}$	$\text{N A}^{-2}$	exact
electric constant $1/\mu_0 c^2$	$\epsilon_0$	$8.854 187 817... \times 10^{-12}$	$\text{F m}^{-1}$	exact
Newtonian constant of gravitation	$G$	$6.674 08(31) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$	$4.7 \times 10^{-5}$
Planck constant	$h$	$6.626 070 040(81) \times 10^{-34}$	$\text{J s}$	$1.2 \times 10^{-8}$
$\hbar/2\pi$	$\hbar$	$1.054 571 800(13) \times 10^{-34}$	$\text{J s}$	$1.2 \times 10^{-8}$
elementary charge	$e$	$1.602 176 6208(98) \times 10^{-19}$	$\text{C}$	$6.1 \times 10^{-9}$
magnetic flux quantum $h/2e$	$\Phi_0$	$2.067 833 831(13) \times 10^{-15}$	$\text{Wb}$	$6.1 \times 10^{-9}$
conductance quantum $2e^2/h$	$G_0$	$7.748 091 7310(18) \times 10^{-5}$	$\text{S}$	$2.3 \times 10^{-10}$
electron mass	$m_e$	$9.109 383 56(11) \times 10^{-31}$	$\text{kg}$	$1.2 \times 10^{-8}$
proton mass	$m_p$	$1.672 621 898(21) \times 10^{-27}$	$\text{kg}$	$1.2 \times 10^{-8}$
proton-electron mass ratio	$m_p/m_e$	1836.152 673 89(17)		$9.5 \times 10^{-11}$
fine-structure constant $e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	$\alpha$	$7.297 352 5664(17) \times 10^{-3}$		$2.3 \times 10^{-10}$
inverse fine-structure constant	$\alpha^{-1}$	137.035 999 139(31)		$2.3 \times 10^{-10}$
Rydberg constant $\alpha^2 m_e c/2h$	$R_\infty$	10 973 731.568 508(65)	$\text{m}^{-1}$	$5.9 \times 10^{-12}$
Avogadro constant	$N_A, L$	$6.022 140 857(74) \times 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$	$1.2 \times 10^{-8}$
Faraday constant $N_A e$	$F$	96 485.332 89(59)	$\text{C mol}^{-1}$	$6.2 \times 10^{-9}$
molar gas constant	$R$	8.314 4598(48)	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$	$5.7 \times 10^{-7}$
Boltzmann constant $R/N_A$	$k$	$1.380 648 52(79) \times 10^{-23}$	$\text{J K}^{-1}$	$5.7 \times 10^{-7}$
Stefan-Boltzmann constant $(\pi^2/60)k^4/\hbar^3 c^2$	$\sigma$	$5.670 367(13) \times 10^{-8}$	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$	$2.3 \times 10^{-6}$
Non-SI units accepted for use with the SI				
electron volt ( $e/C$ ) J	eV	$1.602 176 6208(98) \times 10^{-19}$	J	$6.1 \times 10^{-9}$
(unified) atomic mass unit $\frac{1}{12}m(^{12}\text{C})$	u	$1.660 539 040(20) \times 10^{-27}$	kg	$1.2 \times 10^{-8}$

Inoltre le stringhe potrebbero conciliare la meccanica quantistica con la relatività generale: infatti come già detto se le leggi della relatività generale venissero applicate ai fenomeni subatomici, la struttura spaziotempo tenderebbe a lacerarsi poiché la meccanica quantistica afferma che più si studiano i fenomeni subatomici più la casualità ha il sopravvento: mentre si muovono, le stringhe invece potrebbero creare dei cunicoli che conterrebbero queste lacerazioni. L'esistenza di questi cunicoli secondo Einstein potrebbe esserci anche nella fisica macroscopica a causa di lacerazioni già esistenti nello spaziotempo, ma non potrebbero essere fatte altre lacerazioni per creare nuovi cunicoli. Un cunicolo sarebbe un modo per poter governare il tempo.

Negli anni ottanta furono ipotizzate 5 diverse teorie delle stringhe e non si riusciva a capire se ce ne potesse essere una sola giusta, finché nel 1995 Edward Witten propose una nuova teoria: secondo Witten infatti le 5 versioni della teoria delle stringhe non erano altro che 5 modi diversi di guardare alla teoria stessa, che però necessitava di una ulteriore dimensione: l'undicesima. La nuova teoria di Witten inoltre portò a un ulteriore cambiamento della teoria stessa delle stringhe. Ora infatti le stringhe potevano essere pensate come delle membrane tridimensionali, chiamate brane.



La teoria delle stringhe è dimostrabile scientificamente?

In questa tesina ne è stato proposto solo un assaggio, essa è molto complessa e in continua evoluzione. Con gli strumenti tecnologici che possediamo non siamo in grado di osservare le stringhe, ma si può vedere se in natura i fenomeni si comportano come previsto da detta da un punto di vista matematico. In particolare il Fermilab in Illinois e il CERN di Ginevra con i loro acceleratori di particelle hanno un ruolo fondamentale in questa ricerca. Negli ultimi decenni ci sono state svariate conferme di ipotesi precedentemente enunciate, e molte altre aspettano di essere verificate.

**Partendo dal problema della grande differenza tra relatività generale e meccanica quantistica la teoria delle stringhe riesce a riportare l'ordine ponendo come criterio le stringhe. In questo modo si porta ordine in tutta la fisica.**

## BIBLIOGRAFIA

- Comte, Corso di filosofia positiva, prima lezione, in A. Negri, Positivismo europeo, Le Monnier, Firenze 1981, pp. 51-3; 56-60.
- F. a. von Hayek, L'abuso della ragione, Rubbentino, Soveria Mannelli 2008, pp.342-61, passim.
- H. Arendt, Le origine del totalitarismo, Edizioni di Comunità 1997 (2), pp. 641-7, passim.
- T. Todorov, Il secolo delle tenebre, in M. Flores (a. c. di), Storia, verità e giustizia. I crimini del XX secolo, Bruno Mondadori, Milano 2001, pp. 1-8.
- K. Marx, Il Capitale, libro I, "Poscritto" alla seconda edizione.
- K. Popper, Congetture e confutazioni, Il Mulino, Bologna 1972.
- Matematica e fisica:
- Caforio e A. Ferilli, Fisica! Le leggi della natura 3, Le Monnier scuola, 2016.
- R. Greene, L'universo elegante- superstringhe, dimensioni nascoste e la ricerca della teoria ultima, Super ET, Torino 2015.

## SITOGRAFIA

- <https://www.youtube.com/watch?v=zXhqqXMvdE4>
- <https://www.youtube.com/watch?v=jCwsh9fJkxE>
- <https://jespergrimstrup.org/>