

**Author name**

Giuliano Bettini

**Title**

**The Moebius Strip. A Biology of Elementary Particles**

**Abstract**

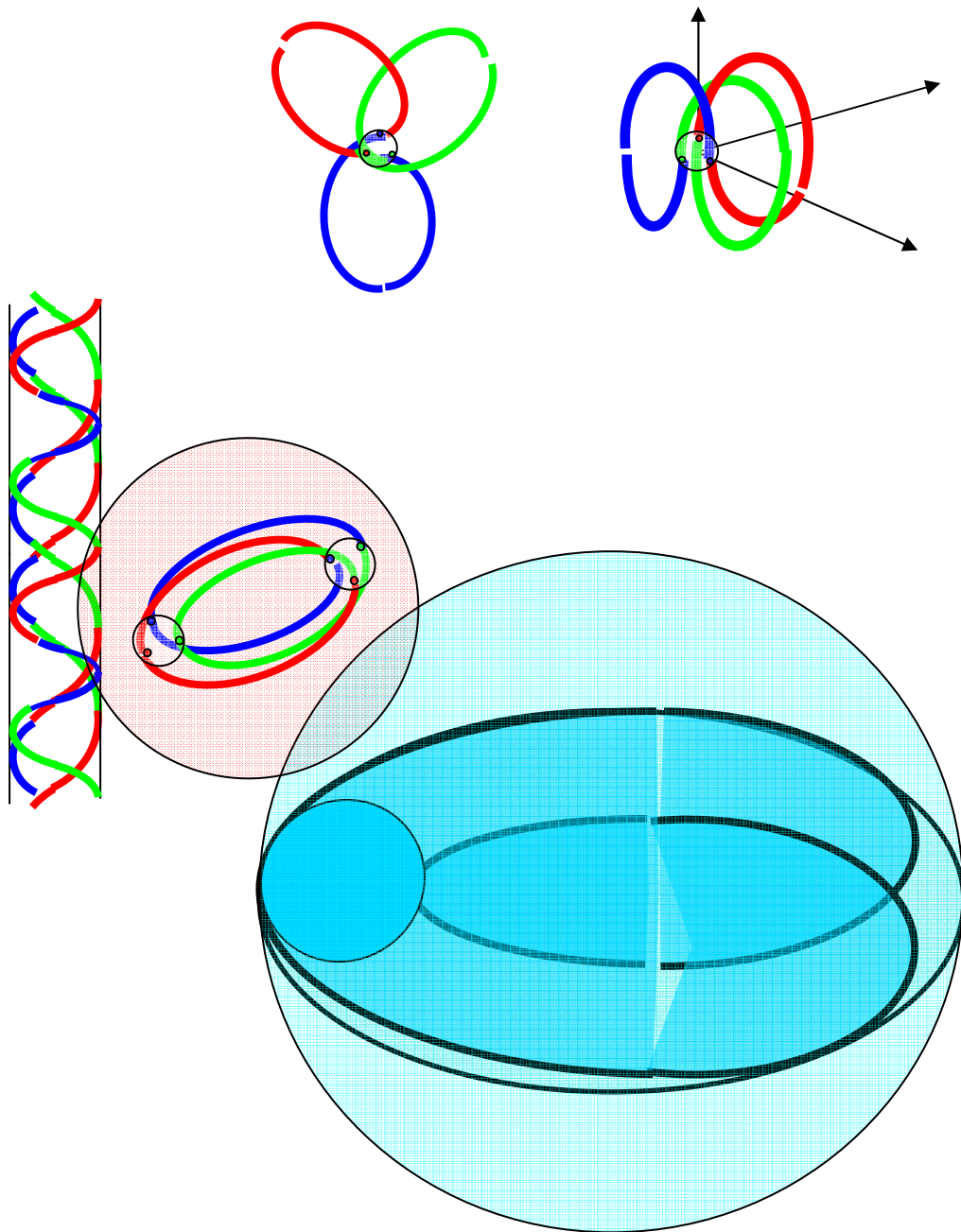
A book of semi qualitative ideas on electron, quarks and life. I quote from David Hestenes: *“For many years I mulled over (...etc.). I was reluctant to publish my ideas, however, because the supporting arguments were mainly qualitative, and physics tradition demands a quantitative formulation which can be subjected to experimental test”*. We intend to make us an image purely electromagnetic of all interactions, and elementary particles, in particular electron, and quarks. This would force even the idea of a single universal vibration, a single field.

The electron is interpreted as a small electric current carrying the elementary charge, elementary mass and Planck quantum of action. With the aid of a few math we identify the electron as one electromagnetic half wave closed on a Moebius strip. This is equivalent to a full wavelength making two turns on the border. It is also probably not totally irrelevant to note that this leads to interesting numerics on the fine structure constant. We identify a quark with a confined electromagnetic wave which is not sufficient in itself to complete a closed loop in space. So quarks are pictured as  $1/3$  and  $2/3$  of a full wavelength. A space model of their combination leads to the entire set of all and only the mesons and barions, in a unique way. In a quite spontaneous way colours theory is interpreted. Finally the various helices of quarks are interpreted as living organisms and similarities with a biological behaviour are showed.

Arguments here are of course admittely primitive and mainly qualitative, also if supported with some math, but to my knowledge this overall conjecture has not been discussed elsewhere, and therefore may be useful for further research,

# *Il nastro di Moebius*

*Una biologia delle particelle elementari*



# **INDICE**

## **Premessa**

### **1-Introduzione**

L'idea di un Tutto unito  
Il campo elettromagnetico  
La luce intrappolata  
“L'elettrone è estraneo all'elettrodinamica”

### **2-Il radar**

Antefatti  
Cosa è un radar  
Il campo elettromagnetico in guida d'onda  
La polarizzazione  
La interazione con il bersaglio

### **3-Il nastro di Moebius**

Elettrone come corrente  
Una oscillazione eterna  
Il nastro dispari  
La costante di struttura fine  
L'impedenza d'onda  
Una circolazione eterna

### **4-Il modello di Hestenes**

Eliche a gogo  
“Eppure gira!”  
L'evoluzione del modello  
Altri modelli  
Confronti

### **5-Le interazioni deboli**

Interazioni deboli e meccanica quantistica  
Un pacchetto d'onde elettromagnetico  
Un pacchetto d'onde elettromagnetico e le interazioni elettrodeboli  
Le interazioni elettrodeboli e la particella di Higgs

## **6-I quark**

Particelle composte

I quark e SU(3)

La struttura dei quark

Disposizioni spaziali

## **7-Una biologia delle particelle?**

Eliche

Colori e quark

Eliche e colori

Eliche e particelle elementari

Riproduzione e nascita

Altri meccanismi di riproduzione

Forme su forme

## **8-Conclusioni**

## **9-Appendici**

Onde e corpuscoli

Onde, corpuscoli e aerei “stealth”

Quark e macchine elettriche

## **10-Note**

## **Bibliografia**

## PREMESSA

Dopo svariati tentativi mi sono deciso a scrivere un libro.

Anzi dirò di più.

Ho deciso due volte di scrivere un libro.

Una prima volta l'ho deciso nel 2000, e la premessa che qui segue è sostanzialmente quella di allora. L'ho scritto e poi non ne ho fatto nulla.

Nel 2009 ho grandemente semplificato il contenuto, eliminando le parti più noiose.

Veniamo al libro nella sua versione attuale.

Esso ha il carattere di un racconto di fantasia, scritto per indizi, con una tecnica che è di molti libri attuali ossia tramite domande che si pone il lettore capitolo per capitolo, e poi prosegue per successive risposte o, appunto, indizi.

Non mi è stato facile decidere la struttura del libro. A volte ho pensato di presentare le trattazioni matematiche, là dove mi è possibile. Altre volte mi sono convinto fosse meglio eliminare ogni formula e numero. Poi mi sono deciso per questa struttura.

Direi che essa è la migliore anche al fine di evidenziare che presento *ipotesi*. Le ipotesi sono suggerite, o suffragate, da indizi.

Volendo, il libro può essere considerato l'intrusione di un radarista nel mondo della fisica e delle particelle elementari.

Non è stato per me nemmeno facile decidere il titolo.

Di che si parla, difatti? Si potrebbe dire: "della struttura dell'elettrone".

Ma negli anni mi è capitato di scrivere appunti, intitolandoli via via con frasi riassuntive che sarebbero anch'esse degne di sintetizzare un titolo.

Una di esse fu: "tutto è luce". Se usassi questa espressione come titolo, direi che metterei in evidenza uno degli angoli di vista particolari dai quali può esser vista questa opera.

Difatti strada facendo mi sono fatto l'idea che il mondo che conosciamo sia costituito di un'unica cosa. Non starò qui ad ampliare più che tanto questo concetto, giacché è stato oggetto di riflessioni filosofiche fin dai tempi antichi e poi è stato ripreso in mille salse anche in epoca moderna. Tuttavia io sono un ingegnere e pertanto ritengo necessario dire qualcosa di più di una sensazione, qualcosa di più preciso.

Io in realtà non sono partito da questa idea, né mi interessa più che tanto, poiché una discussione in questi termini sarebbe più di competenza della filosofia. Ci sono arrivato ragionando sulla ipotesi di una costituzione puramente elettromagnetica della materia, in particolare delle particelle elementari e ancora più in particolare dell'elettrone.

Chi ragiona su cose, che rassomigliano alle varie "Teorie del Tutto" circolanti su Internet, è in fisica inevitabilmente considerato un eretico.

Di conseguenza è uso talvolta, da parte di costoro, invocare una qualche fisica alternativa e citare con un certo disprezzo, come atteggiamento difensivo, quella che viene detta *Scienza ufficiale*. Ciò a mio parere non è possibile: per la semplice ragione fra le tante che non abbiamo niente di più intelligente da sostituirle. In realtà, servirebbero nuove teorie espresse in modo coerente tramite la fisica matematica.

Potenzialmente l'equivalente fisico di una teoria del tutto è la dimostrazione che l'elettrone sia fatto di puro campo elettromagnetico. Il resto, particelle elementari e tutto il resto della materia, segue a ruota.

Non esiste una teoria fisica soddisfacente sull'elettrone. Io ho deciso di raccontare qualcosa, in maniera molto divulgativa, dei tentativi che si stanno facendo.

Prevalentemente racconto le mie personali elucubrazioni cercando di solleticare il lettore anche con voli di fantasia.

Racconto anche brevemente il lavoro di David Hestenes.

Hestenes non ha mai detto la frase "tutto è fatto di campo elettromagnetico", però ha fatto una serie di ipotesi sull'elettrone che ci si avvicinano molto.

Mi fa piacere che nel frattempo, nel 2000, Hestenes abbia avuto il Premio Oersted per l'insegnamento della fisica (collocandosi così accanto a Sommerfeld, Oppenheimer, Richard Feynmann e altri grandi) perché spesso chi ragiona di queste cose è trattato come un visionario.

Il fatto che con questo premio Hestenes abbia avuto un riconoscimento ufficiale gli rende merito.

Anche se potrebbe essere che il premio gli sia stato dato *nonostante* i suoi lavori sull'elettrone.

Ma torniamo al libro.

Leggendo si avrà talvolta l'impressione di un'autobiografia, ma questa non è l'intenzione. Mi è utile, o inevitabile, rifarmi nello scrivere all'iter col quale nel passar del tempo mi sono sorte certe idee, e questo dà l'impressione di autobiografia. In realtà cerco solo di seguire un certo ordine espositivo.

Come ho detto dopo una prima stesura ho completamente rivoluzionato il contenuto, riducendolo e semplificandolo. Ora il libro contiene soltanto qualche idea più o meno fantascientifica sull'elettrone e sui quark.

Ottobre 2009

Giuliano Bettini

## 1-INTRODUZIONE

### 1.1- L'idea di un Tutto unito

Ho scritto “Tutto” con la lettera maiuscola perché a volte lo si trova scritto così. La maiuscola dà un senso di importanza, il senso di una teoria filosofica definitiva sulla costituzione del mondo, delle cose, di... appunto, tutto.

Non è mia intenzione di parlare di questo.

Lo accenno perché tali idee hanno attraversato scienza, religione e più in generale il pensiero umano nei millenni. E' inevitabile che venga voglia di pensare che qui se ne voglia fare un collegamento con una teoria elettromagnetica dell'elettrone, ovvero di tutta la materia.

Ripeto che non è mia intenzione occuparmi di questo.

Anche se è indubbio che una teoria elettromagnetica dell'elettrone un impatto filosofico *ce l'ha*.

Lasciando da parte le religioni, rammentiamo invece i principali tentativi scientifici e filosofici di ricondurre il mondo a una singola “entità”.

Ne citerò solo due, Einstein e gli antichi scritti indiani delle Upanishad.

Probabilmente chi più si è avvicinato in maniera puramente scientifica a concetti unitari è Albert Einstein, con la sua teoria unitaria di campo.

Semplificando brutalmente potremmo dire che c'era in Einstein, in definitiva, il desiderio di descrivere tutta la realtà mediante un unico campo totale

*“.....rispetto al campo parziale della pura gravitazione. La sola indicazione che si può trarre dall'esperienza è una vaga intuizione che entro il campo totale deve essere contenuto qualcosa di analogo al campo elettromagnetico di Maxwell” (A. Einstein).*

Nell'antichità la idea di un'unica sostanza è vigorosamente sostenuta nei Veda, che possiamo considerare i libri della sapienza dell'India. Nelle Upanishad, facenti parte dei Veda, la idea di un'unica sostanza è ribadita più volte.

Dicono per esempio le Upanishad (Chandogya Up. 6.15.3):

*“Qualunque sia questa essenza sottile, tutto l'universo è costituito di essa, essa è la vera realtà, essa è l'Atman. Essa sei tu, o Svetaketu”.*

Detto ciò, passiamo ad occuparci del problema più circoscritto della costituzione dell'elettrone.

Cosa si può dire riguardo alla ipotesi che l'elettrone sia *fatto* di campo elettromagnetico?

## 1.2- Il campo elettromagnetico

Se il telefonino non “prende” e “non c’è campo”, quello è il campo elettromagnetico. Darò quindi per scontato che il lettore sappia più o meno cosa è o cosa si intende per campo elettromagnetico.

Per chi non lo sapesse gli basti pensare che sono onde, come quelle che trasmettono a distanza la informazione radio o la televisione. Oppure la luce e i raggi X. Oppure i segnali radar. Le onde si chiamano elettromagnetiche perché sono elettriche e magnetiche. Trasmettono inseparabilmente un’onda di campo elettrico e un’onda di campo magnetico.

Poiché il campo elettromagnetico si origina dagli elettroni che si muovono, poteva non essere illogico pensare ad un’unica sostanza. Difatti agli inizi fu così.

Il tentativo di interpretare l’elettrone come un qualcosa fatto esclusivamente di campo elettromagnetico è di vecchia data. Max Jammer [1] riferisce dei primi lavori che risalgono a fine ‘800 e ai primi anni del ‘900. Se ne sono occupati molti illustri scienziati di quei tempi. Ancora nel 1920 Einstein, come rammenta Popper [2], scriveva testualmente: “..secondo le nostre attuali concezioni le particelle elementari non sono.... nient’altro che condensazioni del campo elettromagnetico...”. Come dire che la cosa era ancora di attualità nel 1920.

Alcuni presero molto sul serio questi tentativi, altri li criticarono, altri sorrisero.

Tutti i tentativi fallirono.

Sommerfeld [3] rammenta il come e il perché, riportando anche una famosa frase di Einstein “the electron is a stranger in electrodynamics”.

Va osservato che questi tentativi iniziali immaginavano l’elettrone fatto del suo solo campo *elettrico*, campo statico, immobile, quello che semplicemente attira le cariche positive, ma non vibra, non oscilla, non è un’onda elettromagnetica come le onde radio o la luce.

Questo per il semplice motivo che nessuno si sognava a quei tempi di associare proprietà di onda a un elettrone. L’elettrone era una particella, non un’onda.

Quando poi queste proprietà di onda apparvero, ipotizzate da De Broglie e poi teorizzate dalla meccanica quantistica, la situazione si complicò e si semplificò ad un tempo.

La meccanica quantistica associava un’onda “psi” a ogni particella. Nacque così un dibattito collaterale del tipo: tutte le particelle hanno un’onda associata o *sono onde*? La situazione si complicava.

Fra coloro che facevano il tifo per le onde c’era Erwin Schroedinger. Egli andava oltre e per questo veniva molto preso in giro. Pensava più o meno esplicitamente che tutto fosse fatto di onde, e che queste fossero collegate, e che quindi non ci fosse la individualità ma tutto fosse una sola cosa [4].

*“..io non sono del tutto sicuro che l’individualità che noi sentiamo come persona, come individuo, sia reale, che essa non sia un’illusione. E’ in ogni caso un’idea diffusa in Oriente, presso i buddisti, presso i maestri delle Upanishad, che si tratti di*



*un'illusione, che noi non siamo realmente individui spirituali, ma che proveniamo tutti, in realtà, dalla stessa persona”.*

Indubbiamente però per chi avesse voluto costruire l'elettrone con un'onda elettromagnetica la situazione diventava più allettante: c'era già un'onda psi associata alle particelle e quindi perché non supporre che fosse un'onda elettromagnetica? Saltiamo a piè pari ai giorni nostri. David Hestenes [5] interpreta l'elettrone come un'entità in cui ha sede un campo elettromagnetico oscillante, simile alle onde pilota di De Broglie. La carica elettrica posseduta dall'elettrone viene attribuita ad un punto, privo di massa, in rotazione su un cerchio. La massa e lo “spin” dell'elettrone vengono attribuiti alla auto – interazione (“electromagnetic self – interaction”) di questa carica puntiforme con il proprio campo. Per farla breve alla massa, nonché allo spin, viene attribuita un'origine elettromagnetica.

La idea di onde che uniscono il tutto viene sostenuta vigorosamente da altri, tra i quali David Bohm. Le idee di Bohm sono da lui espresse talvolta in maniera molto tecnica, attraverso una interpretazione della meccanica quantistica [6]. Altre volte invece le sue idee sono ben più esplicite. Come rammenta Talbot [7], Bohm pensa che la tendenza che tutti noi abbiamo a frammentare il mondo e a ignorare la connessione di tutte le cose sia responsabile della maggior parte dei nostri problemi. Questo non solo nella scienza, ma anche nella nostra vita di tutti i giorni e nella società.

Per esempio, noi pensiamo di poter estrarre dalla terra tutto ciò che è prezioso senza che si danneggi il resto. Pensiamo che sia possibile trattare parti singole del nostro corpo senza considerarlo un tutto. Pensiamo di poter gestire vari problemi della nostra società, crimini, povertà, droga senza vedere i problemi della società come un tutto unico. Bohm sostiene con passione che il nostro punto di vista corrente, di vedere il mondo frammentato in parti, non solo non funziona, ma può anche portarci all'estinzione.

Qui bisogna onestamente avvertire che la fisica si pone poco o nulla questi problemi. Essa ha un quadro chiaro, almeno nei limiti delle attuali teorie. Ci sono in natura quattro “forze” fondamentali, elettromagnetica, debole, forte e gravitazionale. Ci sono particelle che trasmettono i diversi tipi di forza, fotoni, bosoni intermedi, gluoni e gravitoni [8] e non c'è un mondo fatto fondamentalmente di campo elettromagnetico. Chi se ne interessa lavora per così dire ai margini.

Ma tornando ai giorni nostri cosa possiamo dire del campo elettromagnetico?

Con un poco di fantasia appare qualcosa di suggestivo.

Possiamo prenderla molto alla larga con una riflessione sui metodi matematici nella fisica.

Partiamo da un libro di Einstein sulla Relatività [9]. Leggendolo, si rimane impressionati da come apparentemente una teoria fisica possa nascere come per magia da un mezzo di calcolo. Precisate certe regole matematiche (sui tensori, le

trasformazioni di Lorentz etc), la famosa formula  $E=mc^2$  della Relatività Ristretta nasce senza fatica, come semplice conseguenza.

Come si spiega questo fatto?

Possiamo spiegarcelo: le teorie fisiche si esprimono con la matematica, e la matematica è in fondo un linguaggio descrittivo, però un po' particolare, è fatto per formule e una volta immesse certe ipotesi o formule iniziali nascono tutta una serie di altre formule o deduzioni.

Queste successive deduzioni non sono discutibili: sono obbligate.

Se pertanto le nostre regole o ipotesi iniziali sono fortunate o per così dire *centrate* rispetto all'obbiettivo (che è la descrizione del mondo fisico), allora nasceranno svariate formule giuste e finanche inattese. Vorrà dire che quelle eventualmente in contrasto con ciò che accade nel mondo fisico ci costringeranno a ripensare la teoria dal principio.

Riflettendo ci si accorge che nel caso della Relatività ciò che viene immesso come informazione di partenza è semplicemente questo: la velocità della luce è costante. Passando dalla cosiddetta Relatività Ristretta alla ben più complessa Teoria della Relatività Generale, molte equazioni si complicano e mutano ma non così le equazioni di Maxwell del campo elettromagnetico. Esse restano le equazioni di Maxwell.

Cosa diavolo c'è nelle equazioni di Maxwell da renderle così resistenti anche ad un mutamento di ambiente quale quello trattato dalla Relatività Generale? Quale è il *discorso* che esse fanno?

Le equazioni di Maxwell sono le equazioni del campo elettromagnetico. Forse nello scriverle abbiamo centrato qualcosa di particolarmente intelligente o particolarmente semplice, tale da renderle così resistenti.

Per chi sia appassionato di fisica matematica, le equazioni di Maxwell appaiono stranamente eleganti. Diceva Hertz [10]:

“Non si può esaminare questa sorprendente teoria senza avere a volte la sensazione che le formule matematiche che essa contiene abbiano in sé una vita autonoma, una propria ragion d'essere, che contengano una profonda sapienza che va al di là degli intendimenti del loro stesso scopritore”.

Ma “scopo della scienza non è la meraviglia ma la ricerca” dice Mach. Quindi invece di meravigliarci proviamo a capire.

Abbiamo detto che il messaggio iniziale che rende così potente la Teoria della Relatività è, riassunto in estrema sintesi:

*la velocità della luce è costante.*

Qual è il messaggio iniziale immesso nelle equazioni di Maxwell? Qual è il loro contenuto?

Maxwell ha ricavato queste equazioni scrivendo due volumi, con genio e fatica, e con brillanti interpretazioni elettriche e meccaniche. Oggi potremmo dare una interpretazione più sintetica che non era accessibile ai tempi di Maxwell.

Le equazioni di Maxwell nel vuoto sono null'altro che le condizioni di Cauchy Riemann, cioè le condizioni che definiscono le funzioni analitiche, in quattro dimensioni [11] [12]. Con esse abbiamo affermato quanto segue:

*c'è un qualcosa nello spaziotempo tale che il mutamento di ogni sua piccola parte comporta una variazione del tutto.*

La proprietà sul mutamento è una proprietà delle funzioni analitiche bidimensionali. Cito in proposito questa frase da Silov [13]

*“Possiamo quindi confrontare una funzione analitica ad un organismo la cui proprietà caratteristica è di reagire in blocco ad ogni azione esercitata su qualsiasi sua parte”.*

Quindi questa è l'informazione di fondo che immettiamo nelle equazioni di Maxwell nel vuoto nel momento che le scriviamo: *“il campo elettromagnetico è una funzione analitica”.*

E questo spiega, probabilmente, la meraviglia di Hertz, la bellezza estetica delle equazioni e la loro validità generale [n1].

Riassumendo:

la fisica matematica sta fornendoci un legame fra un ben noto fenomeno fisico, il campo elettromagnetico nello spazio vuoto, e le idee filosofiche di una “essenza sottile” componente il mondo, che risalgono ai pensatori Veda.

Potremmo dire ad uno di questi pensatori Veda: “Una essenza sottile come tu vorresti, *ce l'ho*”.

Ma con essa possiamo comporre tutte le cose?

### 1.3-La luce intrappolata

Identifichiamo provvisoriamente l'essenza sottile di cui parlano le Upanishad con il campo elettromagnetico.

In quale modo le particelle materiali ovvero tutta la materia potrebbero essere costituite da campo elettromagnetico?

Il campo elettromagnetico nel vuoto corre perennemente alla velocità della luce.

Ma le particelle possono indifferentemente viaggiare, o anche stare sul posto.

Come può un qualcosa correre sempre alla velocità della luce e nel contempo stare?

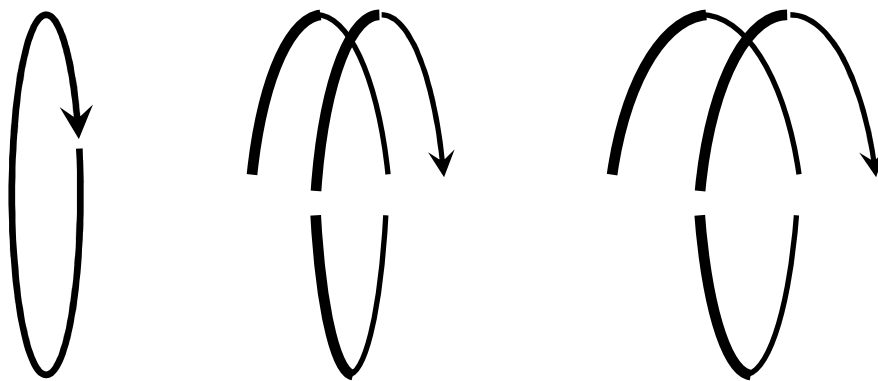
Un modo c'è, almeno nell'immaginazione, ed è correre in circolo.

In quale modo dunque il campo elettromagnetico potrebbe dare luogo alla materia?

Un indizio ci è fornito dal campo elettromagnetico che si propaga in una guida d'onda circolare.

Esso, secondo le circostanze, ovvero secondo la sua frequenza di vibrazione, sta fermo sul posto oppure viaggia.

Le due situazioni sono sommariamente illustrate in figura



Il campo elettromagnetico, quando si propaga, viaggia a elica entro la guida. Le condizioni estreme sono quella a frequenza infinitamente grande, in cui l'elica è molto allungata e il campo viaggia alla velocità della luce, e quella alla cosiddetta "frequenza di taglio" della guida, allorquando con una elica sempre più accorciata il campo finisce col ruotare su sé stesso, e sta lì. Le altre eliche sono intermedie.

Possiamo pensare ad un singolo fotone che sia in queste condizioni. Frequenza ed energia diventano sinonimi, legati dalla costante di Plank. Accade, lo enuncio senza dimostrarlo, che sia la frequenza che la energia obbediscono alle formule relativistiche che legano massa energia e impulso di una particella materiale. La massa risulta precisamente essere.....la energia del campo a riposo, la energia cioè del campo intrappolato che ruota su sé stesso. Luce intrappolata.

Questo è un indizio che ci potrebbe far pensare. Il campo elettromagnetico nella guida d'onda già si comporta come ci si attenderebbe da una particella relativistica.

Un campo elettromagnetico intrappolato si sta comportando come una particella.

Oltretutto questo modello ci fornirebbe in modo gratuito una interpretazione visiva del perché alla scomparsa di massa si libera energia: liberato dal vincolo, il campo se ne va in radiazione elettromagnetica.

Naturalmente qui è la guida d'onda che svolge la funzione di vincolo per trattenere il campo. Nel vuoto, per una particella materiale, dovremmo immaginare una situazione equivalente. Però non si sa giustificare chi o che cosa possa obbligare un campo a ruotare in circolo. Non si sanno scrivere le equazioni che giustifichino il vincolo. Un modo semplice per risolvere la cosa è pensare che non sappiamo giustificarlo, *ma c'è*.

#### 1.4- “L’elettrone è estraneo all’elettrodinamica”

Dunque potremmo cominciare ad interpretare l’elettrone, una delle particelle base della materia, ipotizzandolo fatto di campo elettromagnetico.

Però... “l’elettrone è estraneo all’elettrodinamica”

Questa frase, di Einstein che è stata detta non so se come dato di fatto o di paradosso, contiene un concetto di fondo. In effetti non riusciamo, per esempio con la *elettronica*, che uno potrebbe associare semanticamente alla scienza degli elettroni, a spiegarci gli *elettroni*.

Semplicemente, per l’elettronica, o per l’elettrodinamica, nonché per l’elettrotecnica, nonché ancor più in particolare per quella disciplina della fisica matematica che si chiama elettromagnetismo, gli elettroni *ci sono*.

Perché diavolo ci siano, non si sa.

Se si vuol dire qualcosa di più, occorre per esempio rivolgersi alla meccanica quantistica, la quale peraltro anche lei non ci spiega cosa sia l’elettrone.

David Bohm spiega bene in un suo libro [6] come la meccanica quantistica ci faccia fare i calcoli, ma non ci dica un gran che su cosa sono le cose. Cito in corsivo un suo brano liberamente tradotto:

*Sulla meccanica quantistica uno dei principali Fisici del nostro tempo, Murray Gell-Mann, ha detto:” La meccanica quantistica, questa misteriosa, confusa disciplina, che nessuno di noi veramente capisce ma che tutti sappiamo usare”.(...) Ciò che è chiaro della meccanica quantistica è che essa contiene degli algoritmi per calcolare le probabilità dei risultati sperimentali (...). Per metterla in termini più filosofici si può dire che la teoria quantistica riguarda primariamente la **epistemologia** che è lo studio rivolto alla questione di come ottenere la nostra conoscenza (ed eventualmente cosa possiamo farci). Ne consegue che la meccanica quantistica ci dice poco o niente riguardo la realtà in sé. In termini filosofici, non ci dà quella che potremmo chiamare una **ontologia** d’un sistema quantistico. L’ontologia riguarda primariamente ciò che è, e solo secondariamente come ottenere la nostra conoscenza riguardo alla cosa.*

Riassumendo, anche la meccanica quantistica ci dice poco o niente su cosa sia l’elettrone.

Tuttavia gli elettroni ci sono, se ne conoscono le proprietà, anche se non si sa descriverne la struttura. Sono palline? Sono punti privi di dimensione? La questione poi è stata ulteriormente complicata dal loro doppio comportamento, corpuscolare e ondulatorio. Sono corpuscoli? Sono onde?

Ragionevolmente la ipotesi più economica che si potrebbe fare sull’elettrone sarebbe: ”esso è campo elettromagnetico”. Un grumo, un condensato, una zona più densa di campo elettromagnetico. Ciò darebbe forza anche alla idea di una unica vibrazione universale, un campo unico. Il campo elettromagnetico possiede, ed è in grado di esibire, tutte quelle proprietà che riconosciamo all’elettrone o più in generale a tutta la materia. Esso in opportune condizioni possiede energia, impulso, massa, velocità,

carica. Un agglomerato di campo elettromagnetico potrebbe dunque essere un buon candidato per descrivere l'elettrone. Quando un elettrone si sfascia battendo contro un positrone, e ciò che esce è puro campo elettromagnetico, non è scandaloso pensare che i due fossero fatti di campo elettromagnetico.

Ci sarebbe anche un altro vantaggio.

La meccanica quantistica associa all'elettrone un'onda.

Un campo elettromagnetico può facilmente esibire una ondulazione, anzi, è per sua natura, salvo i cosiddetti campi statici, una vibrazione, un'onda. Le caratteristiche ondulatorie dell'elettrone potrebbero dunque essere spiegabili col fatto seguente: esso è un'onda elettromagnetica.

Orbene lungo questa ed altre direzioni consimili sono stati fatti svariati tentativi.

Non risulta possibile, o almeno non abbiamo una teoria esatta per sostenerlo.

Non abbiamo le equazioni che siano in grado di interpretare così le cose.

O peggio, le equazioni che abbiamo ci dimostrano che non è possibile che le cose vadano così.

Ma...esistono invece degli indizi che ci invitino a lavorare ostinatamente in questa direzione?

## 2- IL RADAR

### 2.1- Antefatti

Il tentativo, anche se solo basato sulla fantasia, di una costituzione elettromagnetica dell'elettrone e poi di tutto quanto richiede di farci un'immagine di come potrebbe funzionare tutta la faccenda.

Che significa una costituzione elettromagnetica di tutte le cose?

Come sono fatte? Come interagiscono?

Sarà sufficiente porsi la domanda, e farsi un'immagine del tutto, relativamente al solo mondo delle particelle elementari.

Una volta che fossimo convinti di una loro costituzione elettromagnetica, potremmo essere soddisfatti. Tutto il resto, atomi, molecole e così via, sarebbe un composto ragionevolmente spiegabile.

Possiamo quindi riformulare la domanda per le sole particelle elementari.

Come sono fatte? Come interagiscono?

Abbiamo bisogno di cose, le particelle, che si reggano in piedi da sole.

In una descrizione a parole potremmo dire: "ebbene, si tratta di grumi, di agglomerati. Di zone dense di campo elettromagnetico". Però non basta. La fenomenologia elettromagnetica la conosciamo abbastanza per pretendere di dare qualche spiegazione più soddisfacente. Ad esempio: possiamo immaginare una singola particella come un circuito elettrico che accumula energia? Non conosciamo nel loro intimo le particelle perché sono troppo piccoline per guardarci dentro, se c'è un dentro, però conosciamo vari circuiti elettrici che accumulano energia, perché sono grandi e possiamo guardarci dentro. Ne conosciamo i meccanismi di funzionamento. Quindi possiamo farci delle analogie. Possiamo dire: "questa piccola particella è come se fosse fatta da un circuito che funziona così e così".

Tutto questo riguarda le domande che possiamo farci riguardo a una particella considerata da sola.

Nello stesso modo dobbiamo spiegarci le interazioni fra le particelle. Con il termine interazioni si intende riferirsi al fatto che più particelle, anche solo due particelle, interagiscono fra loro in certe maniere. Si attraggono, oppure si respingono, oppure fatte sbattere l'una contro l'altra generano altre particelle, oppure si appiccicano e così via. Perché? Come farsi un quadro di tutto questo?

La fisica ha un quadro preciso del mondo delle particelle elementari, sia per come sono fatte, sia su come interagiscono. Questo quadro è basato su decenni di dati sperimentali, e sulle relative teorie.

Ci sono quattro forze fondamentali o interazioni fondamentali in natura, elettromagnetica, debole, forte e gravitazionale, queste spiegano come le particelle stanno assieme e interagiscono.

Ma se si vuole tentare di immaginare tutto come campo elettromagnetico, allora gli oggetti, le particelle, devono essere fatti di campo elettromagnetico. Le interazioni fra oggetti devono essere anche loro puramente elettromagnetiche. Ed è di tutto quanto questo che dobbiamo farci almeno una immagine di fantasia che sia ragionevole.



Possiamo cercare di farlo per l'appunto con delle analogie, con delle cose grosse, visibili, che ci consentano di immaginare cose piccoline, troppo piccoline per guardarci dentro.

Qui bisogna aprire una piccola parentesi, ma opportuna per almeno accennare a due fatti di fondo. Da un lato potremmo dire che è soddisfacente e funziona farci una analogia fra una cosa grande e una particella elementare piccolina, ad esempio l'elettrone. Almeno così la pensano alcuni.

Da un altro lato potremmo dire che non è possibile farsi un'idea del dentro di una particella elementare piccolina, ad esempio l'elettrone. Almeno così la pensano altri. Vediamo di illustrare, anche se in modo brutale, le due affermazioni.

Per chi fosse affascinato dal primo punto di vista, quello della analogia della struttura, vari possono esser gli elementi a sostegno. La natura sembra proporci spesso forme e comportamenti in scala. Il modello orbitale dei pianeti intorno al sole e quello degli elettroni intorno al nucleo dell'atomo è un caso. Ce ne sono tanti. Ma uno particolarmente evidente, "parlante" ci è offerto proprio dall'elettromagnetismo. Le onde elettromagnetiche sono "in scala", dalla più gigantesca alla più ultramicroscopica sono lo stesso tipo di onda. Questo fatto è entro una certa misura sotto gli occhi di tutti. E' esperienza comune. Tutti sanno che le onde radio, il radar, le microonde, l'infrarosso, la luce, l'ultravioletto, i raggi X, i raggi gamma, sono la stessa cosa, in scala. Senza entrare in dettagli che diventerebbero pericolosi fermiamoci qui.

I sostenitori del secondo punto di vista dicono tanto per cominciare che è illusorio voler sempre farci una immagine a tutti i costi del mondo fisico. E' un atteggiamento ottocentesco, superato, da ingenui. Ciò viene poi dimostrato con argomentazioni teoriche ben precise. Lo sostanza finale, per quanto riguarda per esempio forma e struttura interna dell'elettrone, è che non tanto è difficoltoso darsi delle risposte: è sbagliato porsi la domanda.

Sono obbligato qui ad esprimere una opinione personale. In casi come questi mi viene sempre in mente il passato, penso chissà perché ai sacerdoti egizi, all'inquisizione, a un atteggiamento generale di certa cultura. Le risposte a problemi difficili vengono sempre date, precise. La risposta c'è, è questa, punto. A volte la faccenda è più complicata e allora, da parte dei chi si ritiene debba possedere le risposte, non c'è la frase: "in questo caso non sono in grado di rispondere".

Non ci potrebbe essere questa frase.

Si spiega allora che la domanda è sbagliata.

Porsi la domanda è ingenuo.

Se qualcuno insiste a porsi la domanda, allora l'atteggiamento diventa più preciso.

Porsi la domanda è vietato. Chi continuasse a porsela è un deficiente, secondo l'epoca. In altre epoche, viene bruciato.

Ma chiudiamo questa parentesi e riprendiamo il filo del ragionamento. In un racconto di fantasia non abbiamo nessun bisogno di porci queste questioni. La fantasia difatti è autorizzata ad andare oltre. Come disse una volta un mio amico che voleva espormi una teoria poco convincente: "se non mi vuoi ascoltare, posso almeno raccontarti una favola?".

Intendiamo farci una immagine puramente elettromagnetica delle particelle elementari.

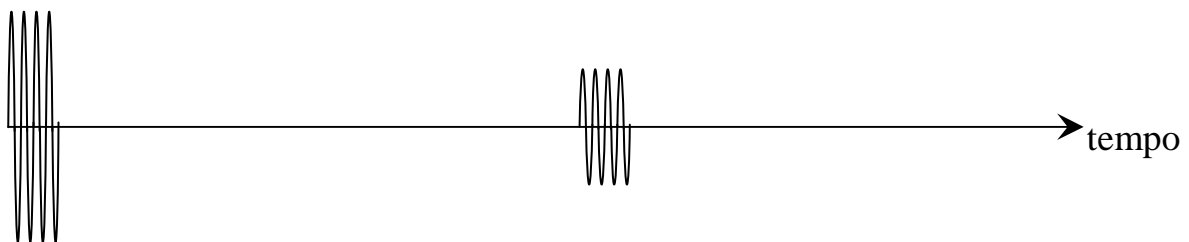
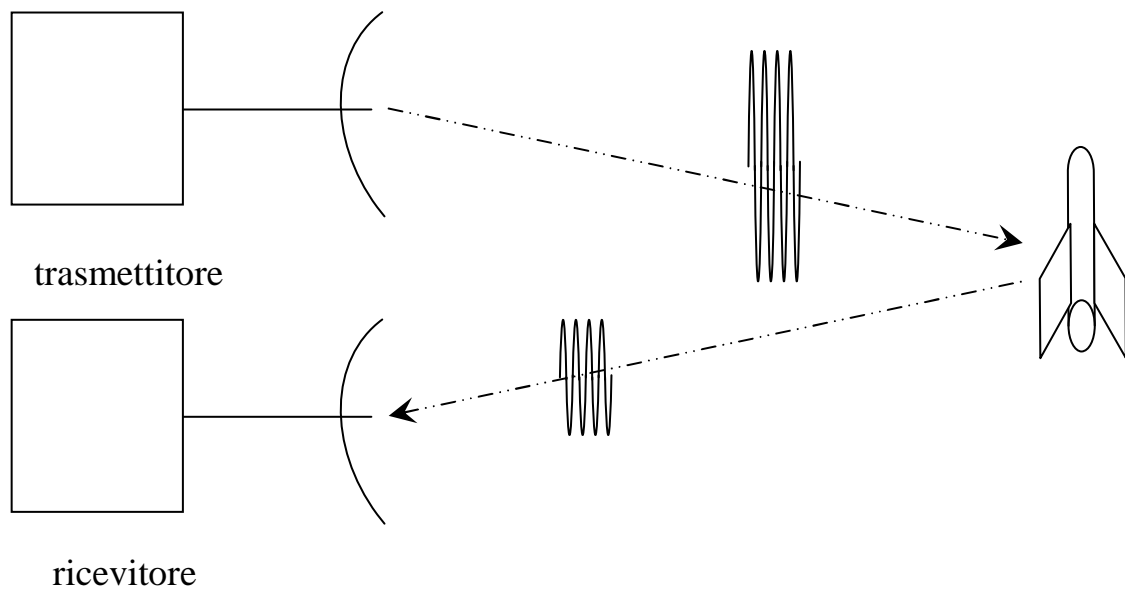
C'è una invenzione che è quella del radar in cui interviene quasi ogni fenomeno elettromagnetico che si possa pensare. Nel funzionamento del radar si sommano una serie di fenomeni fisici che si prestano bene a questi ragionamenti.

Ci sono difatti campi elettromagnetici che stanno sul posto, che viaggiano entro una guida d'onda, che interagiscono, che cambiano volto mutandosi in una differente forma. Può esserci utile? Vediamo il tutto.

## 2.2- Cosa è un radar?

“Radio Detection And Ranging”: come molte parole americane radar sembra un nome, in realtà nasce come un acronimo, come “laser”, eccetera. Vedere gli oggetti tramite onde radio e stabilire a che distanza sono, questo significa.

Per quanto ci interessa in questo momento ci basta descrivere il radar così fatto: la trasmissione direzionale di un impulso elettromagnetico, la misura del tempo di ritorno, la determinazione della distanza dell’oggetto che lo ha riflesso all’indietro [14] [15] [16] [17]. Pressappoco così era il radar americano delle isole Hawaii durante la guerra col Giappone.



Si trasmette l’impulso con un’antenna, lo si riceve riflesso da un eventuale bersaglio, si misura il tempo di ritorno.

Tempo significa distanza perché grazie al cielo la velocità dell’impulso è conosciuta, è la velocità della luce nel vuoto.

L’impulso radar è un breve treno di onde elettromagnetiche, che possiamo definire con sinonimi vari: pacchetto elettromagnetico, treno d’onde, impulso

elettromagnetico, pacchetto d'onde eccetera. E' un campo elettromagnetico che viaggia, con una sua frequenza di oscillazione interna e una sua durata complessiva, in genere molto corto. E' fabbricato nel trasmettitore, con una sua frequenza e /o lunghezza d'onda caratteristica, dipendente dall'uso e dal bisogno.

L'impulso, fabbricato nel trasmettitore, viene spedito nello spazio con un'antenna. Trasmettitore e antenna sono collegati da un cavo o più precisamente da una guida d'onda, che è una specie di tubo vuoto entro il quale l'impulso viaggia. Lo stesso succede con l'antenna ricevente, che si collega al ricevitore tramite una guida d'onda..

Se e quando l'impulso arriva su un bersaglio, viene riflesso dal bersaglio. Si forma una specie di eco che viene emesso nello spazio e in particolare all'indietro verso il ricevitore radar.

Quando diciamo "l'impulso viene riflesso" diamo una descrizione semplicistica di una complessa interazione dell'impulso in arrivo con il bersaglio radar. L'esito è che viene fabbricato un impulso in uscita. Si noti per inciso che il bersaglio non si altera perché il bersaglio è per così dire rigido, duro, è materia rigida, mentre l'impulso è una per così dire "plasmabile" onda elettromagnetica. Questa osservazione ci servirà dopo, quando considereremo bersaglio e impulso aventi entrambi lo stesso grado di durezza; o di plasmabilità .

Detto ciò, come ci può servire il radar per costruirci delle analogie?

In breve possiamo dire che le guide d'onda ci insegnano la esistenza delle particelle. La interazione col bersaglio ci insegna le interazioni delle particelle.

## 2.3- Il campo elettromagnetico in guida d'onda

Nella tecnica radar si inviano pacchetti di campo elettromagnetico verso il bersaglio da individuare. Durante il loro viaggio di andata e ritorno dal bersaglio essi viaggiano alla velocità della luce.

Invece per il collegamento con le antenne essi sono fatti viaggiare entro una guida d'onda. Qui, secondo la frequenza, viaggiano comunque a velocità minore di quella della luce. La guida d'onda *li obbliga* a viaggiare a velocità minore di quella della luce. Vedremo perché.

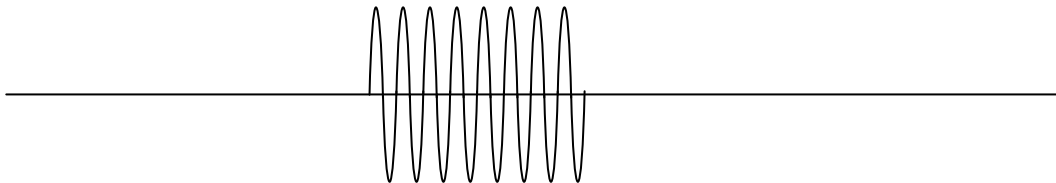
Volendo possono anche andare molto lenti. Viaggiano lenti se la frequenza è di poco più alta della “frequenza di taglio” della guida o, il che è un sinonimo, se la guida è stretta. Se la frequenza è uguale alla frequenza di taglio, stanno fermi.

Quando un pacchetto viaggia dentro una guida sta dentro la guida. E' quindi grosso quanto la guida, un po' più piccolo per entrarci e poter correre. Un tipico pacchetto ha una dimensione dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda, poiché tale è la guida, che è costruita in base ai pacchetti che deve condurre.

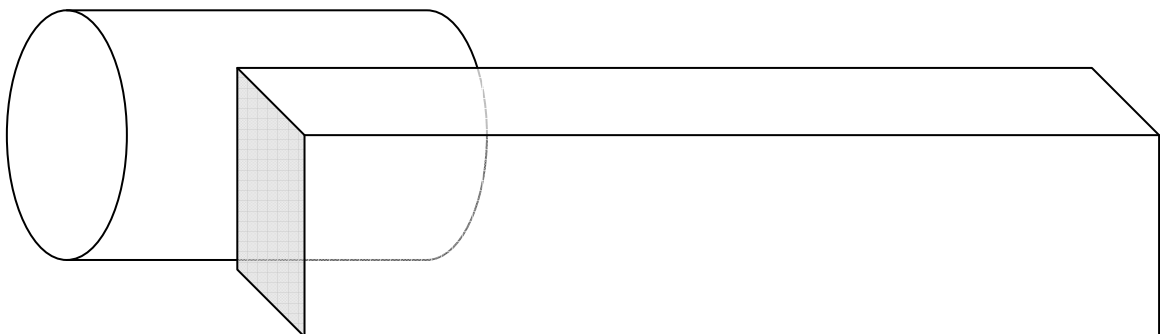
Quanto è la lunghezza d'onda? Nella tecnica ne vengono impiegate tante, in particolare nei radar lunghezze d'onda usuali possono essere dell'ordine del decimetro, del centimetro, del millimetro, secondo le applicazioni. Ma per la luce che viaggia dentro una fibra ottica, che è ...una guida d'onda per la luce, la lunghezza d'onda è enormemente più piccola.

Parleremo di impulsi radar che viaggiano dentro una guida d'onda. Il nostro scopo è paragonarli con una particella

Questo è un impulso radar:



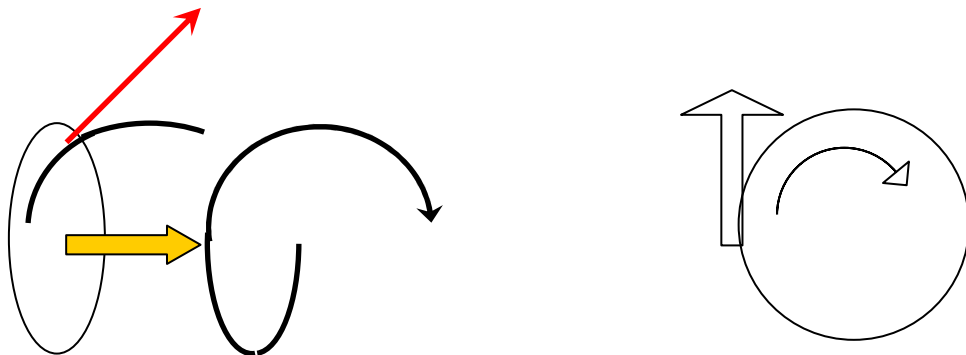
e queste sono guide d'onda, in particolare una guida d'onda circolare e una rettangolare:



Una guida d'onda è una specie di tubo vuoto, una guida circolare è una specie di tubo vuoto come una conduttura del gas, anche se costa di più di una conduttura del gas. Si dirà: e perché non considerare un impulso radar nel vuoto? Perché proprio dentro una guida d'onda?

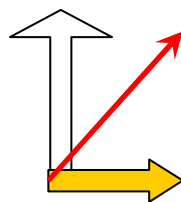
Il motivo è che le particelle possono essere ferme, o in moto ad una certa velocità a nostra scelta. Un impulso radar nel vuoto non può essere fermo, o in moto ad una certa velocità a nostra scelta. Viaggia inevitabilmente alla velocità della luce. In una guida d'onda può viaggiare o star fermo a piacere, quindi per il nostro raffronto va bene.

Mostreremo che l'impulso radar può stare o muoversi come una particella; può *esibire tutte le proprietà* di una particella. O *quasi* tutte le proprietà di una particella. Per il nostro scopo è bene ragionare su una guida circolare. Consideriamo un corto impulso radar, in polarizzazione circolare, che viaggia dentro la guida. Esso è trattenuto dalla guida e viaggia avanzando e ruotando. Nel caso estremo della "frequenza di taglio" il campo non avanza nella guida ma resta lì sul posto. Ma il campo elettromagnetico è pur sempre "luce" e quindi viaggia alla velocità della luce. Come si mettono d'accordo le due cose? Semplicemente in questo modo : il campo percorre sempre un'elica alla velocità della luce (freccia rossa nelle figure).



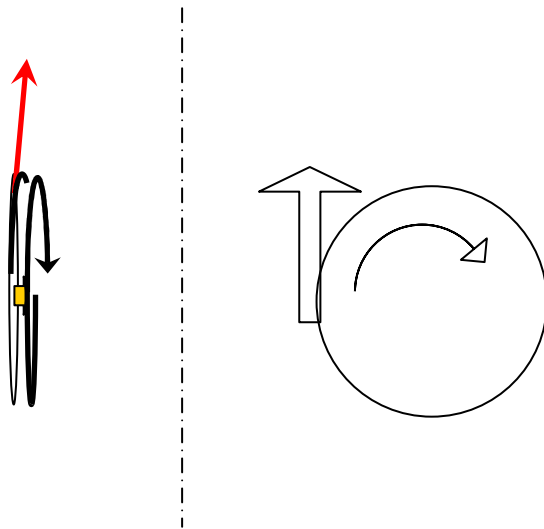
La velocità effettiva di traslazione secondo l'asse della guida è la freccia gialla. La velocità di rotazione è la freccia bianca.

Complessivamente in ogni istante le tre velocità si compongono così:



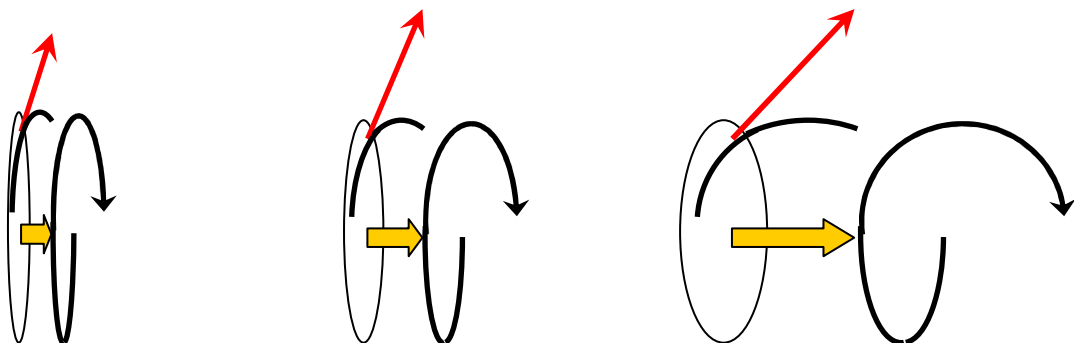
Quale tipo di elica descrive il campo? Cosa fa sì che l'elica sia più o meno allungata, ovvero che il campo si sposti più o meno velocemente? Tutto dipende dalla sua frequenza.

Esiste in una guida, fissata che ne sia la dimensione, una "frequenza di taglio", che si traduce nell'effetto d'avere un obbligo di palleggiamento interno di energia. Finché la frequenza non raggiunge un valore opportuno, la frequenza di taglio appunto, nella guida non si propaga proprio niente, anzi non entra niente. Raggiunta la frequenza di taglio il campo elettromagnetico ce la fa ad entrare in guida ma è per così dire spompato. Ha appena l'energia sufficiente per stare lì, fermo. Entra, non viaggia, si limita a circolare, lì sul posto.

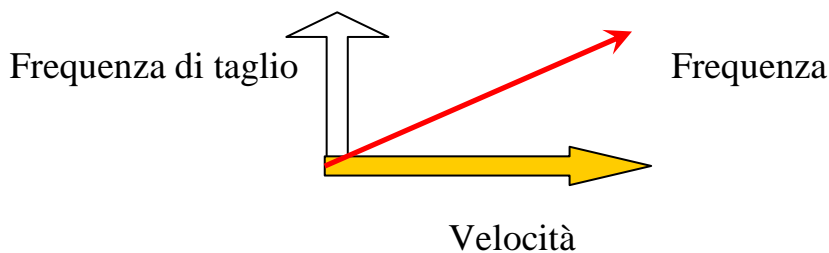
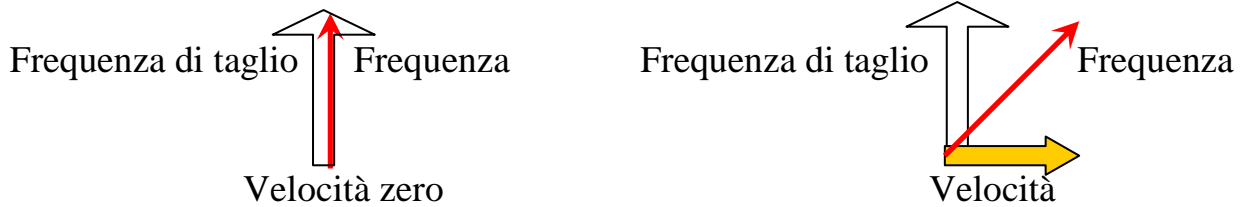


Via via che facciamo crescere la frequenza il campo elettromagnetico è in grado di cominciare a muoversi. Mostriamolo con delle figure.

Con un opportuno cambio di scala possiamo rappresentare, mediante le frecce, il crescere della frequenza. La freccia gialla non è più esattamente la velocità ma è comunque proporzionale ad essa.



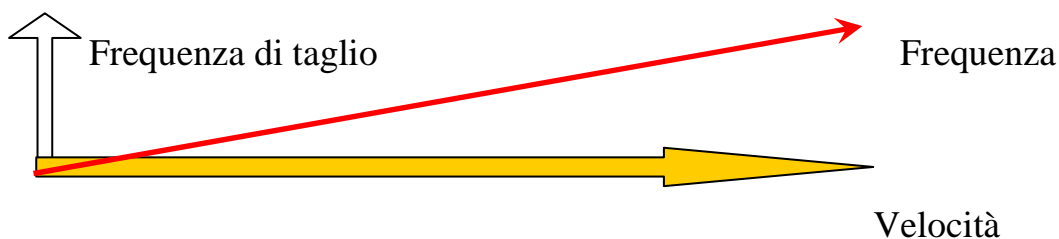
Per aumentare la velocità possiamo dunque crescere la frequenza. Al crescere della frequenza la velocità aumenta con questa legge:



Continuando a crescere la frequenza il campo acquista velocità, ma a fatica. Bisogna trascinarsi dietro questa zavorra della frequenza di taglio, la freccetta bianca, che è stata per così dire la tassa che si è dovuto pagare per entrare in guida. Per raggiungere la velocità della luce la frequenza dovrebbe diventare infinita, ed è proprio quanto accade nelle guide. La velocità della luce si raggiunge, si raggiungerebbe, per frequenza infinita. Vediamo così quanto sia stata di impedimento la guida:

*un campo elettromagnetico, che per sua natura viaggerebbe tranquillamente alla velocità della luce, in una guida è condannato ad approssimarla quanto si vuole ma a non raggiungerla mai.*

Il motivo è quella freccetta verticale bianca che sta nelle figure.

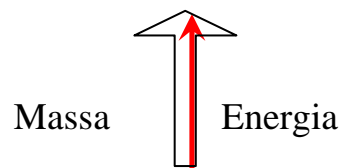


Giunti a questo punto ci è necessario fare ricorso ad un po' di immaginazione



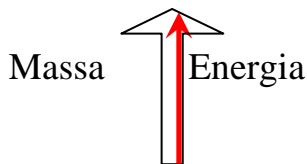
Consideriamo sinonimi la **frequenza** e l'**energia** perché le particelle hanno, associata all'energia, una frequenza, le due essendo legate fra loro dalla costante di Plank. Per dirla in parole semplici pensiamo al campo come a una particella e "sostituiamo dovunque nei disegni alla parola frequenza la parola energia". Il campo che abbiamo appena finito di esaminare immaginiamolo essere ....una particella. La frequenza del campo diventa la energia della particella. La frequenza di taglio diventa la energia a particella ferma, la massa della particella.

Il disegno quando il campo è fermo diventa questo:

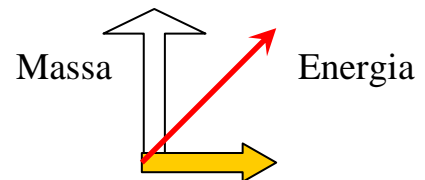


C'è solo circolazione rotatoria di energia. La massa è giustificata da questa energia. Fra l'altro la circolazione giustifica anche il "momento angolare", lo "spin" posseduto dalla particella.

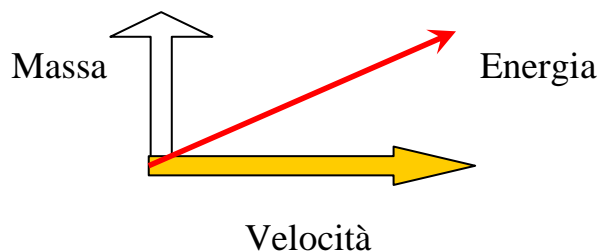
Quando il campo è in moto, si comporta come una particella in moto, e i disegni, con su scritto "energia" al posto di "frequenza", diventano questi:



Velocità zero



Velocità



Esiste come si vede un obbligo: la massa (la "massa a riposo") non varia. Rimane sempre presente la massa, nelle figure la freccetta bianca.

Ora si da il caso che questi non siano solo disegni.

Essi esprimono anche, esattamente, le relazioni matematiche della teoria della relatività che riguardano una particella materiale.

Nelle particelle la massa è rappresentata dalla freccetta bianca.

L'energia totale è la freccia rossa.

L'impulso ovvero la velocità è la freccia gialla.

La massa abbiamo detto è la freccetta bianca. Nella guida era la frequenza di taglio.

Possiamo ripetere tutto quanto abbiamo detto per la guida, ripetendolo ora con il linguaggio delle particelle. Cosa avviene per una particella?

Continuando a crescere l'energia la particella acquista velocità, ma a fatica. Bisogna trascinarsi dietro questa zavorra della massa. Per raggiungere la velocità della luce l'energia dovrebbe diventare infinita, ed è proprio quanto accade nelle particelle. La velocità della luce si raggiunge, si raggiungerebbe, per energia infinita. Vediamo così quanto sia di impedimento la massa. Pensiamo ad una particella come luce intrappolata:

*una particella, causa la sua natura di luce intrappolata, è condannata ad approssimare quanto si vuole la velocità della luce, ma a non raggiungerla mai.*

Se vogliamo seguire l'esempio della guida, ora la massa è una tassa pagata...per che cosa? Dovremmo dire che è una quantità di energia imprigionata, la minima energia indispensabile per far sì che la particella esista.

Riassumendo:

le relazioni grafiche che intercorrono fra le grandezze in gioco in questi disegni soddisfano esattamente le formule frequenza di taglio/ frequenza delle guide e massa/energia di una particella.

Che significa dunque tutto questo? Significa che una particella materiale rassomiglia molto, anzi si identifica con quel campo elettromagnetico. La nostra particella materiale a questo punto non è più una particella materiale, non è più fatta di materia: è esattamente quell'onda elettromagnetica.

Il tutto si traduce in formule ed equazioni ma per non annoiare il lettore rimandiamo alle Note [n2].

Dunque è tutto risolto?

L'esame di una guida d'onda ci sta già dimostrando che una particella elementare è puro campo elettromagnetico?

Non proprio. Intanto c'è la difficoltà principale: qui c'è una guida d'onda che tiene impacchettato il campo elettromagnetico e ne determina la frequenza di taglio. Chi tiene impacchettata una particella nello spazio vuoto? Il campo elettromagnetico fra che cosa si palleggia?

Poi c'è una seconda difficoltà enorme: bisogna giustificare la carica elettrica. Cosa determina la carica elettrica? Un campo in guida ha tutti gli ingredienti, ma non ha carica elettrica. E' per così dire elettricamente neutro.

Ai lettori più esperti potrebbe baluginare una terza difficoltà, che però ad una attenta riflessione si dimostra un indizio positivo.

La meccanica quantistica prevede la “dispersione del pacchetto d’onde”. In altre parole un corto pacchetto d’onde della meccanica quantistica, anche se esiste, nel senso che lui in un certo istante è la particella, con il passare del tempo si disfa. Tutto avviene come se il mezzo, lo spazio, fosse “dispersivo”. Si legge a volte sui libri che questa fu una delle ragioni, o la principale, che impedì di identificare la particella con il suo pacchetto d’onde. Si disse: “anche se individuassi la particella, dopo un poco di tempo la mia conoscenza svanirebbe”.

Successivamente su questo fatto fisico matematico si sono innestate speculazioni filosofiche di varia natura. Ne sono nate considerazioni filosofiche sui nostri limiti di conoscibilità del mondo reale. Einstein su queste cose ha sempre dissentito.

Ora una guida d’onda, effettivamente, è dispersiva. Cosa significa che la guida è dispersiva? Significa proprio che un corto pacchetto elettromagnetico inviato dentro la guida d’onda si propaga, ma dopo un poco di tempo, dopo molto tempo, si disperde. Si disfa. Tuttavia nella tecnica radar non se ne traggono delle considerazioni filosofiche sui nostri limiti di conoscibilità del mondo reale. Si dice semplicemente che la guida è dispersiva.

Questo in pratica nei radar non dà nessun fastidio.

Ma non dà nemmeno nessun fastidio concettuale. Un corto pacchetto elettromagnetico quale è un impulso radar non si disperde per nulla nel vuoto. Si disperde nella guida d’onda, ma questo è un problema della guida d’onda. Non mette limiti concettuali alla conoscibilità della posizione di un impulso radar.

Un più attento esame della situazione risulta chiarificatore su come questo meccanismo di dispersione fa il suo ingresso nella meccanica quantistica. Certe equazioni sono formalmente simili a quelle delle guide d’onda. Ma lasciamo perdere. Volendo noi invece ipotizzare che una particella materiale sia campo elettromagnetico nel vuoto ne traiamo un insegnamento al contrario. Senza entrare in troppi dettagli di equazioni eccetera la conclusione è questa: un corto pacchetto elettromagnetico che fosse identificabile con una particella elementare non si disperderebbe.

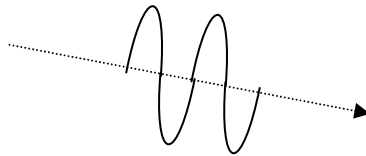
Con questo le guide d’onda hanno terminato di insegnarci ciò che potevano insegnarci. Non risolvono il nostro problema. Prendiamo però atto che ci forniscono dei forti indizi a favore della nostra ipotesi, pur con delle difficoltà da risolvere.

I due paragrafi che ora seguono non sono strettamente necessari per proseguire. Ci serviranno in seguito. Quindi il lettore potrà se vuole saltare direttamente al capitolo sul nastro di Moebius.

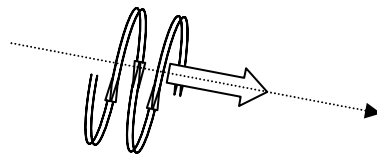
## 2.4- La polarizzazione

Parliamo di polarizzazione. Cosa è la polarizzazione?

Una vibrazione, un campo elettromagnetico si dice polarizzato, e in polarizzazione lineare, se il campo elettrico si propaga vibrando su un piano. Idem farà il campo magnetico. Il piano di vibrazione del campo elettrico si dice piano di polarizzazione.



Il campo elettromagnetico si dice invece polarizzato in polarizzazione circolare se il campo elettrico si propaga avanzando e anche ruotando in circolo, ossia in definitiva descrivendo un'elica.



Poiché nella polarizzazione circolare il campo ruota in circolo, ne segue che ha due modi di ruotare: uno a destra, e uno a sinistra.

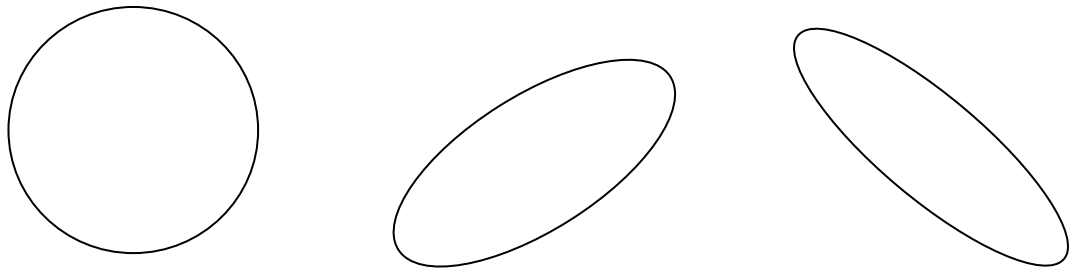
Conseguentemente l'elica che viene descritta è chiamata, ed è, un'elica destra oppure un'elica sinistra.

Cosa sia la polarizzazione destra e la polarizzazione sinistra dipende da che parte si guarda ed è definito mediante convenzioni. Ovviamente gli ottici e gli elettromagnetici, tanto per complicare le cose, hanno scelto convenzioni opposte. Io non mi avventurerò nel seguire l'una o l'altra convenzione o nel cercare di precisare. Indubbiamente, se una cosa che chiamo sinistra gira di qua, potremo considerare che la destra girerà di là, e questo ci basta.

(La cosa non è poi così comica perché un grosso e dispendioso esperimento in Inghilterra fallì anni fa causa malintesi sulle polarizzazioni. Gli apparati riceventi non ricevettero nulla per la confusione che si era fatta sulla interpretazione del verso di rotazione).

La somma di due polarizzazioni circolari che viaggiano di conserva, una destra e una sinistra, dà una polarizzazione lineare. Questo, per lo meno, se sono uguali in ampiezza.

Se invece sono diseguali, si ottengono tutte le forme possibili di ellisse, più o meno inclinato, schiacciato, destrorso, sinistrorso eccetera.



La più generale definizione di polarizzazione comporta pertanto la definizione di un'ellisse di polarizzazione, il quale fornisce tutti i casi possibili, in particolare i casi estremi di lineare verticale, lineare orizzontale, circolare destra e circolare sinistra.

Possiamo ora esaminare cosa succede nel radar quando un impulso radar colpisce il bersaglio e genera un eco di ritorno, perché questo ci aiuta a visualizzare la interazione fra due particelle.

## 2.5- La interazione con il bersaglio

Con un radar si invia un pacchetto di onde elettromagnetiche su un bersaglio. Usiamo i termini “treno d’onde”, “impulso radar” eccetera come dizioni equivalenti.

Il pacchetto viene riflesso dal bersaglio, con intensità e forma che dipendono da come era fatto all’inizio e da come è fatto il bersaglio.

Il segnale riflesso “rassomiglia” a quello che è arrivato, ma ha delle differenze rispetto ad esso. Intanto è più piccolo. Possiamo immaginarci come se solo una porzione di ciò che arriva tornasse indietro.

Oltre a questa variazione di intensità, il segnale riflesso subisce variazioni in frequenza, se il bersaglio o parti del bersaglio sono in movimento, e in polarizzazione.

Il cambio di polarizzazione si esprime dicendo che c’è un cambio dell’ellisse di polarizzazione. Per esempio una polarizzazione incidente lineare potrebbe venire riflessa sotto forma, in tutto o in parte, di polarizzazione circolare e così via dicendo. Nella tecnica radar si definisce un parametro, la RCS, “radar cross section”, e nella sua definizione più completa la “matrice di scattering”, che determinano completamente intensità e tipo di segnale riflesso da un bersaglio.

Possiamo dire che tutte queste variazioni dipendono dalle forme. Quali forme?

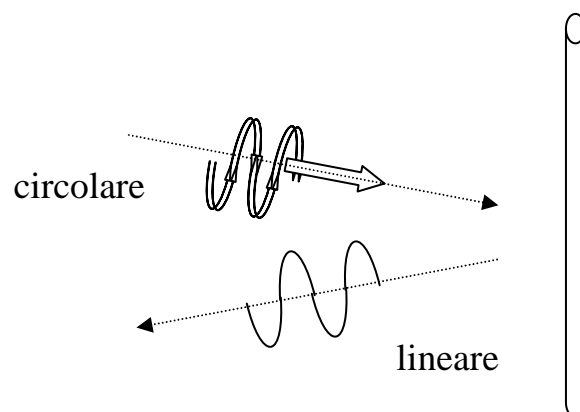
Intanto dalle forme del bersaglio: questo non solo è ovvio ma è anche perfettamente calcolabile nella tecnica radar. Si sa dire esattamente come incidono le forme del bersaglio.

Ma possiamo associare anche al segnale che arriva il concetto di forma. Ad esempio a una certa polarizzazione circolare in arrivo possiamo associare una forma a elica. Se è un’elica destra avrà azioni differenti dalla polarizzazione opposta che è un’elica sinistra. La polarizzazione opposta, con la forma di elica sinistra, potrà dare luogo a risultati clamorosamente diversi. E difatti succede proprio questo.

Un altro esempio è quello di una polarizzazione lineare. Se questa è verticale e una parte del bersaglio ha forma verticale allungata, questa parte del bersaglio darà un intenso segnale riflesso. L’opposto succede se una delle due forme è orizzontale e l’altra è verticale.

Un altro esempio: una polarizzazione circolare che incida su un lungo bersaglio verticale perderà completamente la sua caratteristica di polarizzazione circolare.

Verrà riflessa come polarizzazione lineare verticale. Questo caso è qui rappresentato in figura.

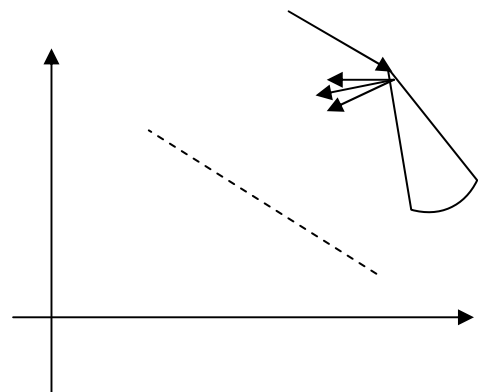
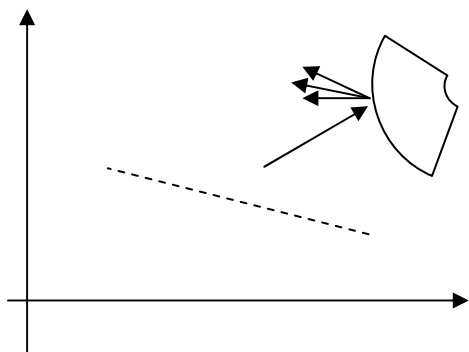
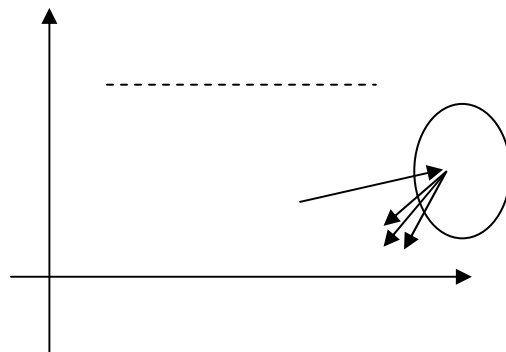
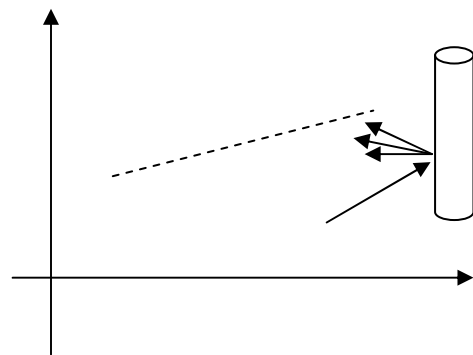
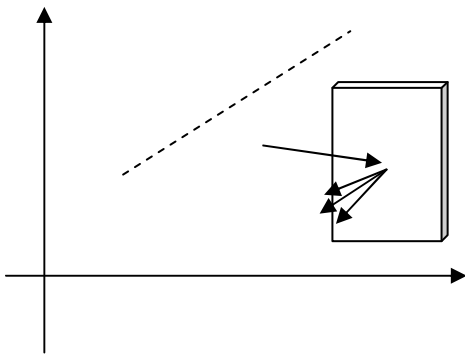


Aggiungiamo ora a questa casistica la dipendenza del segnale riflesso dalla frequenza. La intensità del segnale riflesso dipende dalla frequenza del segnale incidente. In quale modo? Il segnale riflesso può diminuire con il crescere della frequenza. Ma in altri casi può anche aumentare; oppure rimanere di intensità costante.

Dipende dalle forme del bersaglio.

Casi tipici sono i seguenti [17].

Per una piastra piana, la RCS cresce molto con la frequenza; per un cilindro, la RCS cresce ma di meno; per una sfera o una forma a uovo, la RCS rimane costante con la frequenza; per un sottile bordo curvo (“curved edge”) la RCS decresce; infine per una punta la RCS decresce molto.



Fin qui la situazione che riguarda il radar.

Vediamo ora cosa succede nel campo delle particelle elementari.

Qui si conducono esperimenti nei quali si fanno scontrare particelle e si studiano le particelle prodotte. Le particelle incidenti hanno una certa energia (frequenza). Al variare dell'energia la intensità di interazione cresce o resta costante o cala, secondo il tipo di particelle interagenti e le "forze" in gioco. Ad esempio la forza debole è...debole, ma la sua intensità di interazione cresce con l'energia.

Fra le particelle in gioco si distribuisce acconciamente l'energia disponibile e si possono avere scambi di rotazione ("spin") fra le particelle coinvolte.

Qual è la conclusione? Immaginiamo queste particelle come segnali, un segnale incidente e un segnale riflesso. La particella incidente rappresenta il segnale che arriva. La sua energia rappresenta la frequenza del segnale che arriva. Il bersaglio radar fa la funzione della particella colpita. Il segnale riflesso rappresenta allora una particella emessa. Le modifiche che le particelle subiscono sono equiparate alla azione di forze agenti.

Nel contempo fra le particelle incidente, riflessa e bersaglio valgono leggi di conservazione, dell'impulso, del momento angolare, eccetera. Tutte queste leggi di conservazione sono assiomi e proprietà generali della fisica che dominano qualunque fenomeno. La conservazione dell'energia per esempio dice che arriva una certa energia e si distribuisce un po' di qua e un po' di là, ma il bilancio è tale che non ne compare di più o di meno di quella che c'è a disposizione. La conservazione dell'impulso dice che quando una particella colpisce, la particella bersaglio rincula e ancora una volta ci dovrà essere un bilancio alla pari fra ciò che viene spinto in avanti e ciò che viene spinto indietro.

La conservazione del momento angolare dice che c'è un bilancio fra le "intensità di rotazione". Se per esempio ciò che arriva ha una sua intensità di rotazione e perde completamente la rotazione colpendo la particella bersaglio, allora la particella bersaglio dovrà incamerare tutta la intensità di rotazione che c'era prima.

Ci possiamo così formare un'immagine della interazione fra particelle. La energia (frequenza) della particella incidente, unitamente alle forme determina la intensità di interazione nonché il risultato della interazione (ciò che viene emesso), il tutto sotto il cappello delle leggi di conservazione.

Dobbiamo solo fare un ultimo volo di fantasia.

Dobbiamo cioè associare il concetto di segnale o di circuito....anche al bersaglio.

Nel radar non è così, in quanto il bersaglio è immutabile. Prima dell'arrivo del segnale radar il bersaglio ha una certa forma. Dopo la dipartita del segnale riflesso, il bersaglio è sempre quello di prima. Questo fatto è dovuto alla enorme differenza di situazione energetica che esiste fra il bersaglio e i segnali incidente e riflesso. Il segnale incidente non è in grado di deformare il bersaglio. Ma nel caso delle particelle dobbiamo pensare al segnale incidente e al bersaglio come oggetti aventi lo stesso grado di deformabilità. Sono su un piano di parità. Addirittura non sappiamo quale delle due dovrebbe avere il diritto d'esser chiamata bersaglio. Ne segue che la interazione particella incidente, particella bersaglio e particella riflessa può dare luogo a modificazioni in tutte e tre.



Quindi riassumendo la interazione con il bersaglio ci permette di immaginare tutti i possibili meccanismi di interazione delle particelle elementari.

L'unica cosa che dobbiamo ammettere è la esistenza, nelle particelle, di forme.

Possiamo pensare a oggetti o a circuiti elettrici spaziali aventi una certa forma. Se ammettiamo la possibilità, per ogni particella, d'essere un ben preciso segnale spaziale o circuito spaziale, allora ci possiamo raffigurare le interazioni. Ovviamente tutte le interazioni saranno così di natura elettromagnetica. Avremo interazioni elettromagnetiche fra circuiti elettromagnetici., ma queste appariranno, o meglio saranno più o meno intense. Potrebbero simulare la azione di diversi tipi di forze, che ci appaiono differenti. Una forza elettromagnetica, una forza forte, una forza debole. Naturalmente non è semplice formulare una teoria esatta di tutte le interazioni riportandole a interazioni elettromagnetiche e a forme. Nemmeno è detto che sia possibile. Ma a noi è sufficiente immaginare questa possibilità. Ammettiamo la presenza di circuiti spaziali.

Ma da dove nasce la carica elettrica?

Dobbiamo giustificarci la presenza della carica elettrica.

In una prima stesura del libro me ne ero ampiamente occupato, ma ora ho eliminato quella parte, per cui la cosa rimane in sospeso.

### 3- IL NASTRO DI MOEBIUS

#### 3.1- Elettrone come corrente

Varie considerazioni mi portano a ritenere che per ciò che riguarda la natura noi riusciamo non tanto a spiegare, quanto a raccontare modestamente il mondo che vediamo, cercando d'esser coerenti.

Gli elementi di un racconto stanno nella osservazione, e poi nel linguaggio con cui si narra ciò che si è visto. Il linguaggio nel caso specifico è la matematica. Se poi il racconto è fatto bene, le conseguenze sono interessanti, a volte inaspettate.

La carica elettrica è quantizzata. Ciò significa che si presenta solo a salti di una carica elementare di valore "e" carica dell'elettrone. Questo è un fatto. Non mi intratterrò quindi certo a tentare di dimostrare la quantizzazione della carica ma solo a cercare di raccontare qualcosa di coerente in proposito. "Aggiungo che il caso della carica elettrica, è probabilmente il caso più semplice, più completo, più esatto di quantificazione. Ci sono masse differenti di atomi e di particelle, ma non c'è che una carica elettrica, che è esattamente la stessa in tutti i casi. E questo è il solo caso, attualmente, che non sia affatto spiegato dalla teoria dei quanti".

La frase fra virgolette non è mia, è di Schroedinger [4]. Limitiamoci dunque a una constatazione. Esistono quanti di elettricità.

L'elettrone è anche un quanto elementare di massa ovvero di energia "E". All'energia è associata una frequenza attraverso la espressione sibillina "*E uguale a h nu*". La lettera "h" è la costante di Planck. La lettera greca "nu" è la frequenza

Anche questo va constatato e assunto come dato di fatto

Dunque che l'elettrone sia un quanto elementare di carica e di energia è un dato di fatto.

Possiamo tentare di raccontare le due cose dicendo che l'elettrone è una piccola corrente?

Diciamo una piccola corrente che dà un valore di carica "e" e di energia "E".

Se questo ci servisse a raccontare in un sol colpo che esiste una carica elementare e anche una energia elementare, sarebbe economico. "Essentia non sunt multiplicanda praeter necessitatem" diceva un tizio.

E' relativamente assurdo pensare che esista in natura una piccola corrente la quale sia per così dire un quanto di corrente, una corrente elettrica elementare. Cos'è una corrente elementare? Ma siccome esiste una carica elementare, e non sappiamo spiegarcelo, ed esiste una energia elementare, e non sappiamo spiegarcelo, tanto vale immaginare una corrente elementare che spieghi tutte e due le cose messe assieme, e in un sol colpo. Una corrente può giustificare carica ed energia. Una carica in moto è una corrente, e una corrente porta energia. Però bisogna far tornare i numeri. Se mettiamo dei numeri, sono plausibili? Dei calcoli brutali si possono fare, basta l'elettrotecnica. Vediamo allora di farci una pur se vaga idea di numeri in gioco.

Facendo alcune ipotesi estremamente semplificative [n3] tipo calcolo della resistenza dissipata nella resistenza di un ferro da stiro, l'esito è:

questa corrente dovrebbe scorrere in una resistenza di circa ventimila o trentamila ohm, o giù di lì.

Questo risultato è già consolante. A priori un calcolo di questo genere avrebbe potuto portarci alla necessità di una resistenza di 0,0000000000000001 ohm, oppure di 50000000000000000000 ohm il che sarebbe stato imbarazzante da interpretare. Invece 20000 ohm è un numero più ragionevole. Ma vediamo più in dettaglio perché possiamo considerarlo ragionevole. Non tanto per il numero in sé, né piccolo né grande, quanto perché pertinente al problema.

Se uno fa un calcolo di massima per cercare di stimare ad esempio parametri del DNA, si può pensare ragionevolmente che compaiano in questo calcolo numeri che abbiano a che fare col problema, per dire, grandezze relative a una cellula vivente, il diametro di una molecola ma non la lunghezza di una Fiat Panda o il diametro di un disco di Elvis Presley.

Nel caso specifico quale resistenza possiamo associare a questa corrente?

Stiamo ragionando sulla possibilità che alla base di tutto ci sia il campo elettromagnetico nel vuoto, stiamo immaginando che la particella fondamentale della materia, l'elettrone, campo elettromagnetico, sia una piccola corrente, questa corrente dovrebbe in qualche modo esistere nello spazio. Una corrente nel vuoto.

L'elettromagnetismo sa calcolare la, per così dire, resistenza dello spazio. Essa vale, decimali più, decimali meno, 377 ohm. E' Z, la "impedenza caratteristica del vuoto", una delle costanti fondamentali della fisica.

Certamente, pur se in un calcolo di larga massima, sarebbe stato affascinante se avessimo ottenuto dai numeri il seguente esito:

la resistenza dovrebbe essere 377 ohm

Invece il numero che viene è di circa venti o trentamila. Pazienza. Il risultato non è male, diciamo che in un certo senso è incoraggiante e può spingerci a non abbandonare la nostra ipotesi.

Ma perché trentamila?

Per essere più esatti i calcoli [n3] suggeriscono una formula che dà una resistenza di 25812 ohm e spiccioli.

In questa formula compare Z, la impedenza caratteristica del vuoto. Compare poi un certo alfa o alpha, come lo chiamano gli americani, che è la "costante di struttura fine", un importante numero onnipresente nel mondo degli atomi. Fatti i dovuti conti, la resistenza diventa 25812 ohm e spiccioli.

La comparsa di questo alfa non ci scandalizza. Ma il problema rimane. Per proseguire dovremmo inventarci una teoria che giustifichi la presenza di questo "alfa". La strada diventa troppo artificiosa per proseguire.

Bisogna che ci rendiamo conto bene di qual è il problema

Se una piccola corrente deve rappresentare l'elettrone ossia quanto di più fondamentale c'è nella fisica, allora debbono comparire in questa corrente solo costanti fondamentali della fisica.

Certamente è consolante che appaia Z. Da questo punto di vista è anche consolante che appaia alfa. Alfa è una costante fondamentale della fisica, anzi è talmente fondamentale che qualcuno ritiene che sia la più fondamentale di tutte. Ma perché dovrebbero combinarsi queste due costanti fondamentali in modo da dar luogo a quest'altro valore di resistenza non più 377 ohm ma 25812 ohm?

Per farci comodo?

Se questi 25812 ohm fossero a loro volta una costante fondamentale, dovrebbero intervenire anche da qualche altra parte in fisica. Dovrebbero esser comparsi in qualche altro problema della fisica.

Non solo.

Dovrebbero essere una costante *ancora più importante* di Z e alfa, perché compaiono direttamente nell'elettrone.

Ma fra le costanti della fisica una resistenza di questo valore non c'è.

Nella tabella delle costanti fisiche l'unico valore di resistenza che compare è quello di 377 ohm e spiccioli, la impedenza caratteristica del vuoto. Non ci sono altre resistenze fondamentali.

O almeno *questa era la situazione prima del 1980.*

Bene allora per farla breve diciamo che si verificò nel 1980 un fatto che a questo punto appare stupefacente, o quantomeno suggestivo.

Anzi, debbo essere onesto, e dire che si verificò un fatto che a me in quell'epoca apparve stupefacente, o quantomeno suggestivo.

Questa resistenza da 25812 ohm c'era, c'è, ma non ce ne eravamo accorti. Non ci era mai capitata sotto il naso.

Dal 1980 una nuova grandezza è entrata a far parte delle costanti fisiche fondamentali. Una improvvisa ed inattesa scoperta ha rivelato questa nuova costante fondamentale. Essa è appunto questa resistenza e il suo valore, misurato con grande precisione, è risultato pari a 25812 ohm, con ulteriori cifre decimali che vengono via via meglio conosciute con l'affinarsi dei metodi di misura.

La scoperta avvenne per caso.

Si stava misurando la cosiddetta "resistenza di Hall" [18] su materiali semiconduttori. La misura comporta (...manco a dirlo..) elettroni, i quali danno luogo a una corrente muovendosi in circolo sotto la azione di un campo magnetico. I materiali erano semiconduttori, come quelli dei transistor, di vario tipo, di fornitori diversi.

Orbene ci si accorse con stupore che cambiando, entro certi limiti, sia il materiale semiconduttore sia il campo magnetico sia l'orbita degli elettroni la misura dava un valore inchiodato di resistenza.

Ci si trovava di fronte ad una nuova costante della fisica.

In che senso? Supponiamo che uno misuri la velocità con cui gli arriva un impulso radar. Prima la misura quando il radar è fermo. Poi misura la velocità, quando il radar

è montato su un aereo che s'avvicina a 1000 chilometri all'ora. Poi misura la velocità quando cambia radar. Poi fa allontanare l'aereo a 2000 chilometri all'ora. Poi spedisce un impulso radar sulla luna misura il tempo di ritorno. Poi fa lo stesso con un impulso laser. La misura dà un valore inchiodato di velocità. Quella è una costante universale della fisica.

La miglior misura attuale fornisce 25812,807572 ohm, e questa è la "costante di von Klitzing", questo è il nome con il quale è entrata a far parte delle costanti universali della fisica. Klaus von Klitzing ha avuto il premio Nobel nel 1985.

Debbo ribadire che a suo tempo rimasi molto colpito perché, quando cominciai a fare i primi ragionamenti su una corrente associabile all'elettrone, questa scoperta, e cioè che una tale resistenza esistesse, non era ancora avvenuta.

Ecco che quella che fino a quel momento mi era sembrata una difficoltà si trasformava in un indizio, l'indizio che l'approccio fosse un approccio plausibile o almeno meritevole di attenzione.

Ripetiamo in breve ciò che abbiamo detto.

Abbiamo detto di voler concretamente ragionare sulla possibilità che l'elettrone sia campo elettromagnetico.

Ci sono vari modi per accostarsi al problema, e scegliamo un approccio di pura e semplice elettrotecnica.

Che l'elettrone abbia energia e carica e una lunghezza d'onda associata è un dato di fatto. Le stesse grandezze sono anche possedute da, o attribuibili a, una corrente.

Anche questo è un dato di fatto. Maxwell ha inventato la corrente di spostamento, legata al campo elettrico nel vuoto (che a sua volta s'accompagna a un campo magnetico), per cui possiamo usare campo elettromagnetico e corrente come sinonimi a livello discorsivo. Proviamo a prendere in considerazione per l'elettrone un ragionamento semplice del tipo:

"consideriamolo *dunque* una piccola corrente".

Questa, per rappresentare l'elettrone, dovrebbe essere associata al movimento o al transito di una carica, pari appunto alla carica "e" dell'elettrone, e dovrebbe giustificare al suo passaggio, oltre che la carica, anche la massa ovvero l'energia "E" dell'elettrone.

L'elettrotecnica ci insegna come calcolare carica ed energia associate a una corrente. Facendo qualche calcolo, per giustificare i valori della carica e dell'energia appare necessario invocare uno strano valore di resistenza, nella quale tale corrente scorre.

Nel 1980 si scopre che questa resistenza fondamentale per così dire *esiste in natura*, senza che ci sia bisogno di inventarla a forza per sostenere una insostenibile teoria. È la "costante di von Klitzing", 25812,807572 ohm, e con questo nome entra a far parte delle costanti universali della fisica.

Questo è un indizio favorevole o almeno consolante.

Esistono altri indizi?

### 3.2- Una oscillazione eterna

Se una piccola corrente è l'elettrone, questa corrente dovrebbe circolare eternamente ed essere in grado di esistere nello spazio vuoto.

Dovremmo pensare ad una corrente o un segnale *spaziale*, o se si vuole a un circuito elettrico spaziale nel quale questa corrente circola.

Naturalmente è complesso giustificare un circuito spaziale che si autosostiene nel vuoto, ma il modo più facile per farlo è ammettere, come ipotesi di lavoro, che sia così, salvo il fatto che noi non ne sappiamo ancora scrivere le equazioni.

Vediamo se si riesce a dire qualcosa di più sulla forma di questa corrente.

Come è fatta questa corrente spaziale?

Intanto facciamo una premessa, altrimenti si fa confusione.

Abbiamo parlato di campo elettromagnetico nel vuoto. Poi abbiamo parlato di corrente, sempre nel vuoto. Poi abbiamo usato il termine "segnale spaziale". Poi abbiamo parlato di circuito spaziale. Li abbiamo usati come sinonimi. Ma *effettivamente* possiamo usarli come sinonimi. Per il momento prendiamo atto di questo, riprenderemo la cosa in seguito, nel paragrafo su "onde e corpuscoli".

Tornando alla questione, come è fatta questa corrente spaziale?

Qui intervengono e ci vengono in aiuto le caratteristiche ondulatorie che, di fatto, l'elettrone esibisce negli esperimenti. Ci possono essere pareri, interpretazioni, certezze o dibattiti su cosa sia questa onda, ma è un fatto che l'elettrone mostra anche queste caratteristiche di onda. Coerentemente con i tentativi di altri fra cui Hestenes ipotizzeremo che questa onda sia un'onda elettromagnetica. In più, supporremo che l'elettrone *sia* questa onda. Dunque l'elettrone oscilla, vibra, è un'onda elettromagnetica e la sua frequenza e lunghezza d'onda sono la frequenza e la lunghezza d'onda che si misurano negli esperimenti.



La piccola corrente che, nelle nostre ipotesi, è l'elettrone, è non solo una corrente, ma una corrente *oscillante*.

Con quella precisa lunghezza d'onda e quella precisa frequenza.

Quindi alla domanda "come è fatta questa corrente spaziale?" tanto per cominciare diciamo che dovrebbe essere una corrente oscillante.

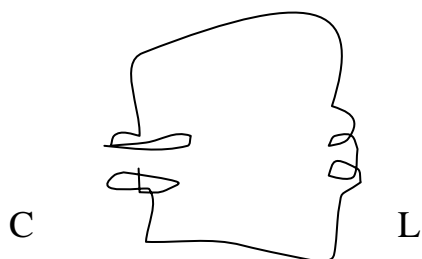
Per di più siccome l'elettrone è eterno questa corrente è eterna. Poi siccome l'elettrone ha una sua massa (energia) che mantiene in eterno, questa corrente dovrebbe mantenere questa energia in eternamente.

Questo ci aiuta molto perché un circuito in cui scorre eternamente una corrente oscillante, avente una sua ben precisa frequenza, e nel quale è immagazzinata una ben precisa e costante quantità di energia, è un circuito facile.

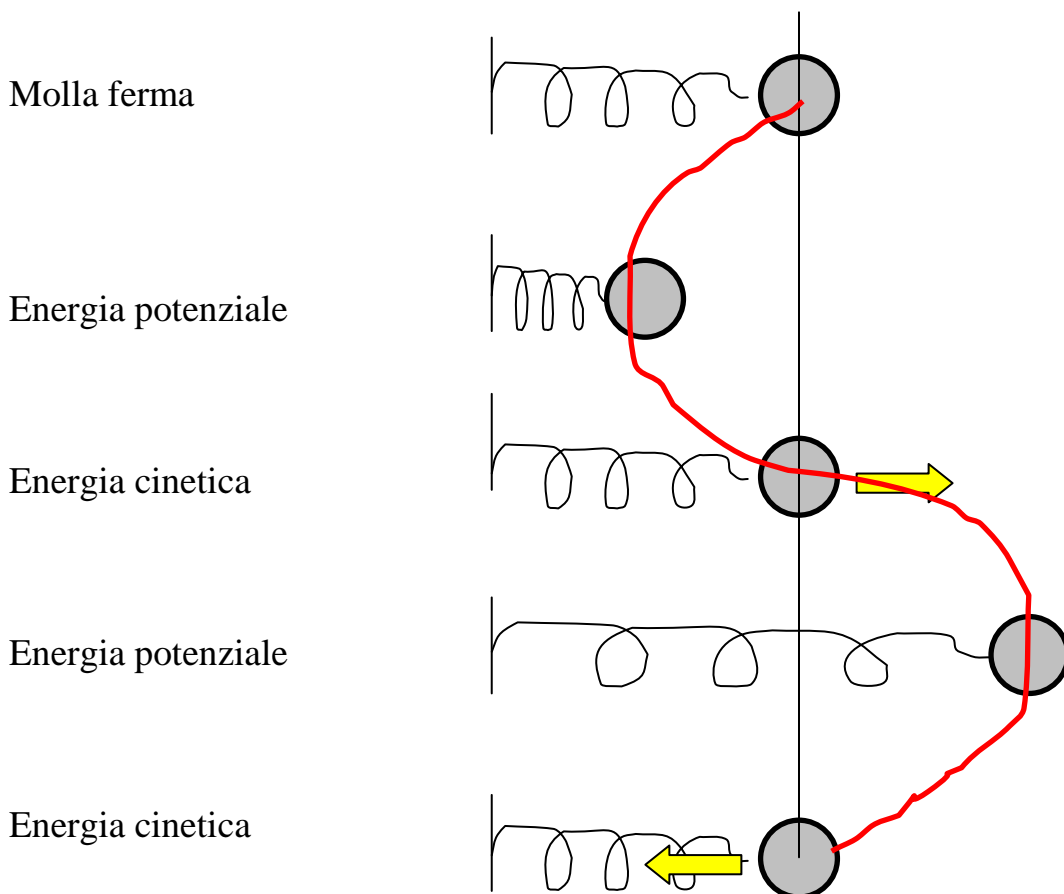
E' un circuito oscillante L C.

Per coloro che non sappiano nemmeno approssimativamente cos'è un circuito oscillante L C si potrebbe scrivere un interessantissimo libro, dedicato solo a questo. Diciamo solo due parole. Un "oscillatore L C" è fatto con un condensatore C e una bobina L. E' un circuito che prevede la presenza di pura energia che se ne sta lì, oscillando eternamente fra energia "potenziale" nel condensatore C ed energia "cinetica" nella bobina L.

Il circuito è questo:



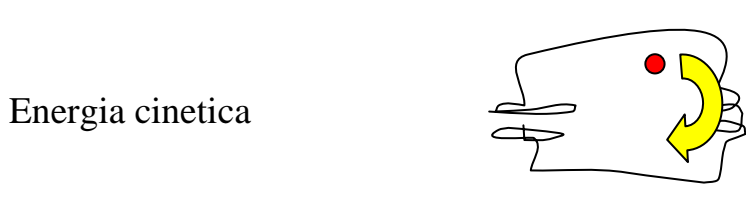
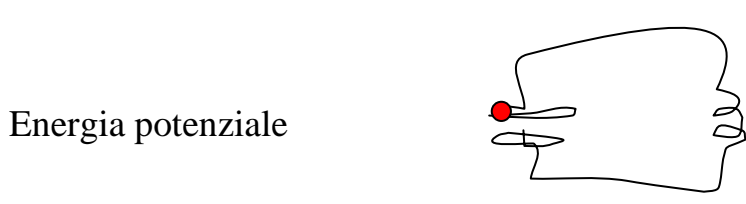
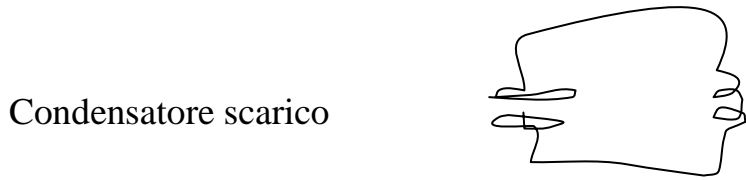
Il suo analogo meccanico è per esempio una molla con una massa oscillante. Oppure la corda di una chitarra che vibra. Il circuito L C può "rappresentare" questa molla con massa oscillante, oppure se fa piacere la molla con massa oscillante può rappresentare il circuito L C.. Nel caso della molla, o della corda di una chitarra, l'energia si palleggia fra energia potenziale e energia cinetica nel modo seguente:



La molla è ferma. Comprimiamo la molla: la molla è pronta a scattare. La sua energia è pronta ad esprimersi ed è “potenziale”. Essa è immagazzinata nella molla, carica di energia. Rilasciamo la molla ed essa scatta e rilascia la sua energia. Nel momento in cui ha massima velocità, passa nella stessa situazione in cui era a riposo, ossia non è né tesa né compressa. Ha ancora energia, ma la sua energia è solo legata al moto, è “cinetica”. Arrivata alla sua massima elongazione la molla si ferma. Ora è tesa al massimo, è pronta a contrarsi. La sua energia è nuovamente pronta ad esprimersi ed è “potenziale”. Eccetera.

Senza attriti, dissipazioni, eccetera, il fenomeno prosegue all’infinito.

Nel caso del circuito LC consideriamo una corrente nel circuito dovuta allo scorrere di una carica elettrica. L’energia si palleggia ancora fra energia potenziale, quando il condensatore C è carico ed è pronto a scaricarsi, e energia cinetica, quando la carica corre alla sua massima velocità nella bobina L, e il condensatore è scarico.





Senza attriti, dissipazioni, eccetera, il fenomeno prosegue all'infinito.

Tutte le grandezze in gioco in questi fenomeni (corrente nel circuito, velocità della molla eccetera) hanno in comune la stessa forma nel tempo. Sono oscillazioni, di forma "sinusoidale". Le oscillazioni teoricamente proseguono all'infinito. Ad esse è associata una energia, e una ben precisa frequenza. Frequenza ed energia dipendono dai valori dei parametri in gioco.

Riassumiamo..

L'elettronica ovvero la teoria dei circuiti ci insegnano a rappresentare e studiare i cosiddetti circuiti equivalenti, modelli matematici dei circuiti veri. In questo caso ipotizzare un circuito equivalente per la corrente spaziale che dovrebbe esser l'elettrone abbiamo detto è facile. Si tratta di un semplice "oscillatore L C". E' un circuito che prevede la presenza di pura energia che se ne sta lì, oscillando eternamente fra energia "potenziale" nel condensatore ed energia "cinetica" nella bobina. La quantità totale di energia è costante, semplicemente essa cambia continuamente di forma.

I valori di L e C determinano tutti i parametri del circuito, frequenza di oscillazione, impedenza caratteristica, energia eccetera. Si noti che anche qui esiste un parametro, la impedenza caratteristica, che ha le dimensioni fisiche di una resistenza, si misura in ohm. Però pur misurandosi in ohm non è una resistenza. Non dissipa la energia. La energia ai suoi capi si mantiene.

Dunque un circuito oscillante L C è un buon candidato per rappresentare l'elettrone. Non sappiamo in che misura il circuito L C rappresenti la "realtà fisica" del circuito vero, però è sicuramente un buon candidato per svolgere la funzione di circuito equivalente.

E' opportuno che sia ben chiaro il concetto di circuito equivalente.

Gli ingegneri elettronici e gli ingegneri che si occupano di sistemi in senso lato, sono abituati al concetto di "modello", "modello equivalente" o in particolare "circuito equivalente".

Il sistema fisico, di cui si costruisce un circuito equivalente, si comporta riguardo a suoi certi parametri *come se* fosse il circuito equivalente.

Questo discorso, volutamente semplicistico, riassume però le caratteristiche principali o i limiti di un modello:

1-vuole essere una riproduzione del sistema fisico sotto studio *solo relativamente ai parametri presi in esame*

2-non ha necessariamente una aderenza *geometrica o di forma o di materiali* con esso.

Si pensi, per fare un esempio, ad una serie di circuiti elettrici risonanti che facciano da circuito equivalente alle vibrazioni di una campana o alle corde di una chitarra o alle oscillazioni di una molla.

Siamo in questa situazione. Non possiamo essere certi di questa immagine fisica della corrente – elettrone come circuito *vero* L C. In questo senso abbiamo creato a tutti gli effetti un circuito equivalente. Però la esatta riproduzione di una corrente che scorre, di una oscillazione di corrente con una ben precisa frequenza, di una energia immagazzinata che non si dissipa e si mantiene eternamente, sono tutte cose ben fattibili dal circuito equivalente.

Nel nostro caso la energia immagazzinata deve essere pari alla energia E dell'elettrone, e la frequenza di oscillazione della corrente deve essere eguale alla frequenza  $\nu$  dell'elettrone.

Per giustificare che ciò avvenga sono necessarie acconci valori dei parametri di L e C.

Che succede se mettiamo dei numeri? Si possono fare dei calcoli con la teoria dei circuiti oscillanti. Faremo alcune ipotesi semplici, che tuttavia, si noti, sono assai più evolute di quelle rozze fatte nel paragrafo precedente. Lì si parlava brutalmente di una energia dissipata in una resistenza. Ora invece il circuito giustifica un'energia che si mantiene. Ciò si riflette nel nome “impedenza caratteristica” del circuito; si misura in ohm, ma non è una resistenza che dissipa.

Per chi volesse ho riportato i calcoli nelle Note finali [n4]. Racconto qui solo il risultato.

*Una impedenza caratteristica di 25812 ohm giustifica quasi esattamente carica, energia e frequenza dell'elettrone.*

Ancora una volta i calcoli richiamano insistentemente il valore di resistenza già trovato prima.

Possiamo accantonare questo come secondo indizio.

(Il *quasi esattamente* significa che servirebbero valori del rapporto L/C un po' diversi da quelli che ci danno i calcoli. Questo ora poco importa, ma prendiamo nota di questa incertezza numerica, perché vedremo successivamente che con ipotesi più precise anche questa sarà eliminata).

Ma, se questo è il circuito *equivalente*, come può essere fatto invece il circuito *vero*? Come ora vedremo, esso suggerisce una corrente avvolta su sé stessa su un nastro di Moebius.

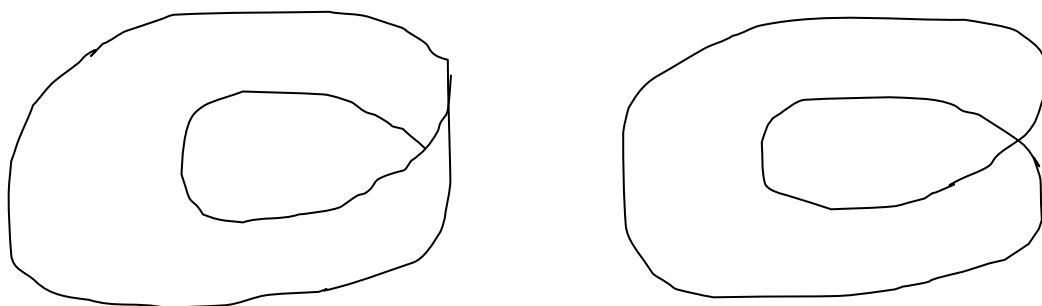
### 3.3- Il nastro dispari

Continuiamo ostinatamente a ragionare sulla possibilità che l'elettromagnete sia campo elettromagnetico.

Ad ogni piè sospinto, come vedremo, compaiono eliche e un nastro di Moebius.

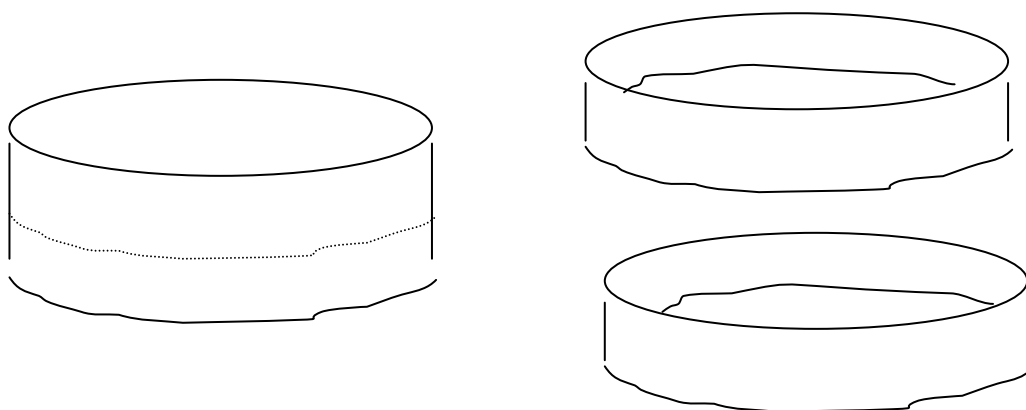
Cui è costui? è un nastro chiuso che si riavvolge su sé stesso dopo aver compiuto una mezza torsione. Ciò determina interessanti proprietà matematiche che lo hanno reso oggetto di studio a più riprese, e curiosità varie.

Ne possiamo realizzare facilmente uno in casa con una striscia di carta, oppure con un filo di ferro che ne rappresenti il bordo.



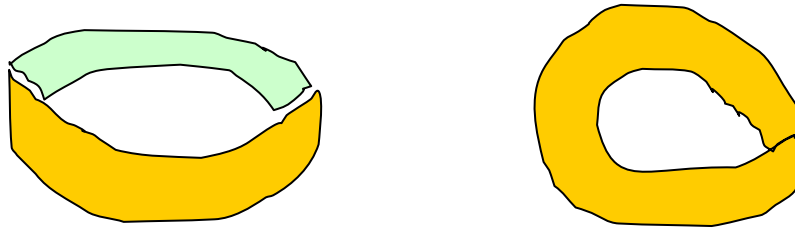
Possiamo, sempre in casa, renderci conto di alcune proprietà curiose.

Per esempio costruiamo dapprima un nastro normale, servendoci di carta e colla e poi tagliamolo longitudinalmente, lungo il tratteggio. Otterremo, ovviamente, due nastri separati.



Ciò appare abbastanza ovvio e ci attenderemmo la stessa cosa ripetendo l'operazione con un nastro di Moebius. Ma se lo facciamo, otteniamo invece ...un solo nastro. Provare per credere. Ancora.

Un nastro normale ha due superfici, una di dentro e una di fuori. Possiamo colorarle di due diversi colori. Facciamo lo stesso con un nastro di Moebius. Colorando una superficie ci accorgiamo dopo un pò che...risulta colorato tutto il nastro. Non c'è un "dentro" e un "fuori": c'è una sola superficie.



Così pure un nastro di Moebius non ha due bordi ma un unico bordo. Possiamo fare la prova seguendo il bordo con un dito: ritorneremo allo stesso punto dal quale siamo partiti.

Questi sono solo esempi di proprietà curiose.

Ma come appare qui un nastro di Moebius e per quali altre sue proprietà?

Abbiamo precedentemente preso in considerazione un ragionamento semplice del tipo:

“consideriamo una piccola corrente”.

Questa, per rappresentare l'elettrone, dovrebbe essere associata al movimento o al transito di una carica “e”, pari appunto alla carica “e” dell'elettrone, e dovrebbe possedere l'energia corrispondente alla massa dell'elettrone.

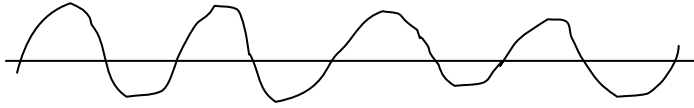
Dovremmo pensare, dicemmo, ad una corrente o un segnale *spaziale*, o se si vuole a un circuito elettrico spaziale nel quale questa corrente circola.

Naturalmente osservammo che è complesso giustificare un circuito spaziale che si autosostiene nel vuoto; si può ammettere, come ipotesi di lavoro, che esso esista, salvo il fatto che noi non ne sappiamo ancora scrivere le equazioni.

Ora però ci chiediamo: come potrebbe essere fatto?

Per introdurre per gradi il ragionamento, cominciamo a dire come un campo elettromagnetico potrebbe giustificare il passaggio di una carica elettrica.

Impulsi o “treni d'onda” o pacchetti di campo elettromagnetico sono usuali nel radar o nelle telecomunicazioni o nelle guide d'onda. Solamente, allorquando ne passa uno, non è passata nessuna carica. La ragione è che il campo elettrico, o la corrente che possiamo pensargli associata tramite il concetto della cosiddetta “corrente di spostamento” di Maxwell, è a valore medio nullo.



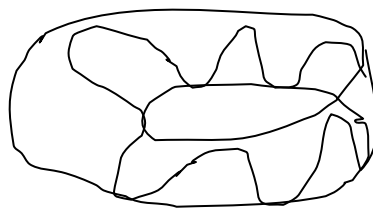
Questo significa che a tanti cicli positivi corrispondono altrettanti cicli negativi. Volendo, ci possiamo anche immaginare che siano passate, pulsando, tante cariche positive e negative alternate, ma il bilancio complessivo di ciò che è passato ci dice che è passata una carica nulla.

Viceversa nel caso di un elettrone dobbiamo giustificare il passaggio di una carica. Possiamo allora, dobbiamo pensare all'elettrone come una piccola corrente, ma con una semionda "spare" o dispari, che indica il passaggio di una carica. Tutte le altre si compensano, ma lei no.



E come farebbe allora la corrente-elettrone o il campo elettromagnetico a stare sul posto, giustificando l'elettrone quando esso è fermo? Come fa questa corrente a passare ma anche a stare?

Il modo più ovvio è che il campo elettromagnetico ruoti su sé stesso. Ma ciò, se lo leghiamo alla presenza di una semionda "dispari", deve avvenire su un nastro di Moebius:

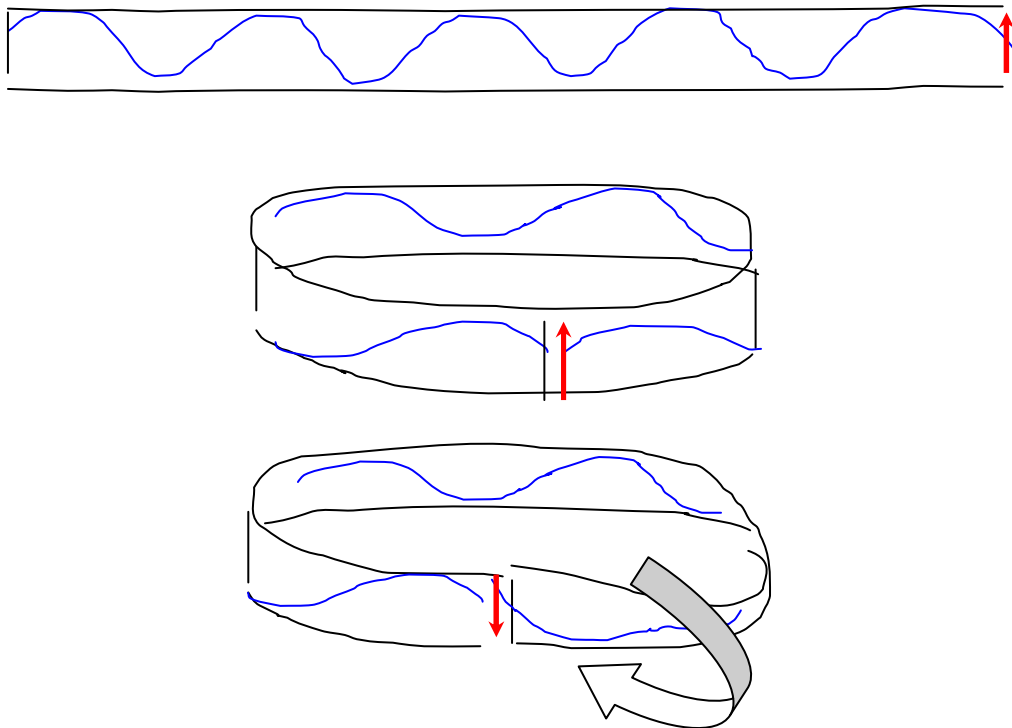


E' qui difatti che può richiudersi un'onda avente n cicli interi qualunque (anche zero) *più mezzo ciclo*. Possiamo convincerci in casa di tutto questo, divertendoci con disegni vari.

Proviamo. Con carta e forbici ritagliamo un nastro e disegniamo sul nastro una corrente che abbia, per esempio, 9 semionde (4 cicli interi più una semionda). Meglio se la carta è trasparente o semitrasparente.

Questa corrente potrebbe, volendo, correre fra i due bordi del nastro, se questi fossero i due lunghi fili ininterrotti di una linea di trasmissione bifilare.

(Naturalmente se così fosse la linea risulterebbe...elettricamente carica).  
 Richiudiamo ora su sé stesso il nastro come in figura, freccia rossa in alto.  
 L'onda di corrente non si richiude più con continuità fra i due fili.  
 A questo punto basterà rigirare uno dei due estremi del nastro come è indicato dalla  
 figura, freccia rossa in basso. L'onda ora si richiude su sé stessa e può correre  
 indefinitamente fra i due bordi del nastro (...che sono diventati un unico bordo, il  
 bordo di un nastro di Moebius).



Ora l'onda di corrente viaggia credendo di viaggiare in una linea di trasmissione.  
 Questa linea di trasmissione non finisce mai.  
 Abbiamo quindi così una maniera con la quale una corrente con una semionda dispari  
 può, ruotando su sé stessa, generare una carica elettrica che sta sul posto.  
 Pertanto possiamo provvisoriamente concludere con un modello avente una corrente  
 chiusa su sé stessa su un nastro di Moebius.  
 Una corrente fatta come? Con quante semionde?  
 Per quanto ne sappiamo, o meglio per quanto abbiamo immaginato, è necessario che  
 ci sia un numero *dispari* di semionde.  
 Esistono ulteriori indizi confermativi di ciò?



### 3.4- La costante di struttura fine

Un ragionamento di natura fisica ci ha fin qui portato a immaginare un nastro di Moebius.

Queste sono solo congetture e vedremo che anche alla fine del libro resteranno congetture.

Tuttavia vedremo ora che c'è un altro ragionamento del tutto diverso, un ragionamento sul valore numerico della costante di struttura fine, che porta alla stessa ipotesi di nastro.

Esiste un numero misterioso in fisica che è la costante di struttura fine.

Ho l'obbligo qui di dire che allorquando si dicono frasi di questo tipo esistono inevitabilmente un certo numero di personaggi che dicono che *per loro* tutto è chiaro e non v'è mistero alcuno.

Lascerò al lettore l'onere e il divertimento, consultando articoli, libri, Internet etc., di decidere quale sia la verità.

Comunque sia, la costante di struttura fine è appunto un numero puro, come fosse il pi greco, rapporto fra circonferenza e diametro, o il numero "radice di 2", rapporto fra ipotenusa e lato di un triangolo rettangolo a cateti eguali.

Ma la costante di struttura fine è un rapporto costruito con grandezze le quali apparentemente sono come patate e cioccolatini, appartengono a rami diversi della fisica. E' il rapporto fra il quadrato della carica elettrica dell'elettrone (elettricità) e il prodotto fra la costante di Plank (meccanica quantistica) e la velocità della luce.

Facendo il rapporto viene...un numero puro.

Fra le altre circostanze in cui appare, esso (o meglio il suo inverso 137,036) è anche il rapporto fra due grandezze caratteristiche dell'elettrone.

Una è "lambda c", la cosiddetta lunghezza d'onda Compton, caratteristica dell'elettrone considerato come onda. Questa lambda c è la lunghezza d'onda che vedono i fotoni quando interagiscono con l'elettrone.

L'altra è "lambda e", caratteristica invece dell'elettrone considerato come una sferetta. Possiamo dire semplificando molto che lambda e fornisce la dimensione dell'elettrone.

Si noti però che "lambda e" non è in realtà una grandezza che si sia mai misurata: essa è semplicemente definita tramite lambda c e la costante di struttura fine. Quindi la vera definizione della costante di struttura fine è quella detta prima.

Le speculazioni sulla costante di struttura fine si sprecano: vanno dalla fisica alla matematica alla numerologia all'esoterismo. Cos'è quel numero? Cosa lo determina? Cosa ci sta dietro?

E' una situazione imbarazzante. Non sappiamo dire perché venga proprio *quel* numero, e non per esempio il numero 429,012 o 13,00061. Ma non è tanto questo che imbarazza, o almeno non è solo questo. E' ancor più imbarazzante il fatto che elettricità e meccanica quantistica, assieme alla velocità della luce che significa teoria della relatività, appaiano collegate da quel numero. Evidentemente la costante di struttura fine ci sta mandando un messaggio che non abbiamo ancora capito.

Diceva Richard Feynman:

*:”..... is it related to pi or perhaps to the base of natural logarithms? Nobody knows. It's one of the greatest damn mysteries of physics: a magic number that comes to us with no understanding by man. You might say the "hand of God" wrote that number “*

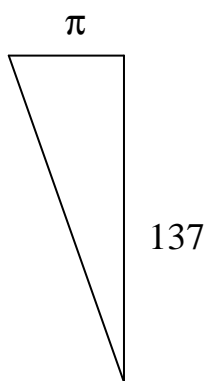
Fu Einstein a mettere per primo l'accento su questa entità, la quale mostra questo inspiegabile legame fra meccanica quantistica, elettromagnetismo [n5] e relatività. Sta di fatto che la costante di struttura fine è pari a 1 diviso 137,036..., con altre cifre decimali che ne precisano il valore via via che la fisica affina i suoi strumenti di misura, e nessuno sa perché.

Veniamo al dunque.

Debbo ora confessare di essermi a volte dedicato a quella deprecabile disciplina che assume il nome dispregiativo, e a ragione, di “numerologia”, che consiste nell'interpretare numeri a vanvera con criteri a vanvera. Così è possibile scoprire, si fa per dire, che la età presunta di Noè espressa in anni, divisa per pigreco, fornisce in metri la altezza della piramide di Cheope, ma simili e analoghi risultati lasciano il tempo che trovano. La costante di struttura fine è stata a lungo saccheggata per pescarvi numeri cabalistici di questa fatta.

Un po' diverso è il caso che mi si è presentato. Un facile calcolo, espresso qui in forma grafica, fornisce il seguente risultato

*l'inverso della la costante di struttura fine è legato a pigreco e a un numero intero, 137, ed è la ipotenusa di questo triangolo*



Il lato maggiore del triangolo è un numero intero, per l'esattezza 137, mentre il lato minore ...è pigreco.

L'ipotenusa risulta allora pari alla costante di struttura fine (al suo inverso), coincidendo coi risultati sperimentali con un impressionante precisione come diremo dopo.

Il calcolo è facile. Si fa con il teorema di Pitagora e una calcolatrice tascabile, il risultato è 137,0360157 eccetera.



Ma come si possono giustificare questo intero 137 e il pi greco?

Ora in generale i numeri adimensionali, in fisica matematica, assumono un significato fisicamente o geometricamente interpretabile. Nel caso specifico un *intero*, poco importa che sia 137 o altro, può essere in qualche modo spiegabile, può rappresentare “137 cose”. Le condizioni di quantizzazione a numeri interi sono usuali in fisica. Quando la corda di una chitarra vibra, ci stanno per forza un numero intero di semionde. Per una qualche condizione di quantizzazione potrebbero essere necessarie 137 cose, un numero intero, e questo è plausibile.

Ma perché compare il pigreco?

Il pigreco ha già di per sé una precisa origine geometrica, rapporto fra una circonferenza e il suo diametro. Non si vede perché dovrebbe intervenire qui. Finché non ne troveremo una ragione geometrica, dovremo considerare questo “pigreco” come introdotto qui ad hoc, per far tornare forzatamente le cose, come nel caso degli anni di Noè o della piramide di Cheope.

Tuttavia una interpretazione c'è, e non tira in ballo la piramide di Cheope, ma solo l'elettrone e anche (ebbene sì!) un nastro di Moebius.

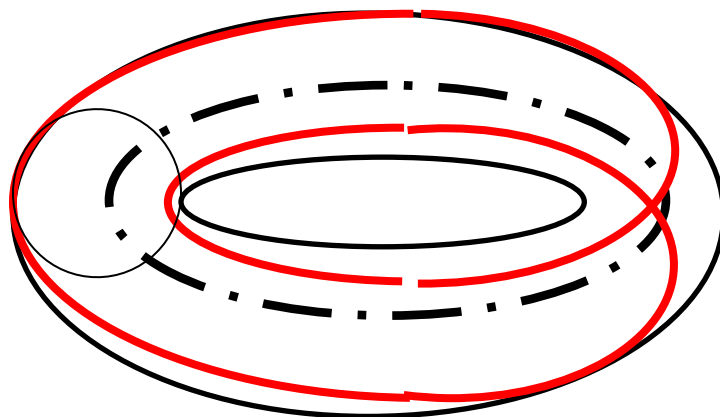
Un filo lungo  $\lambda c$  su una ciambella di diametro  $\lambda$  e risolve le cose, se però è avvolto a dare il bordo di un nastro di Moebius.

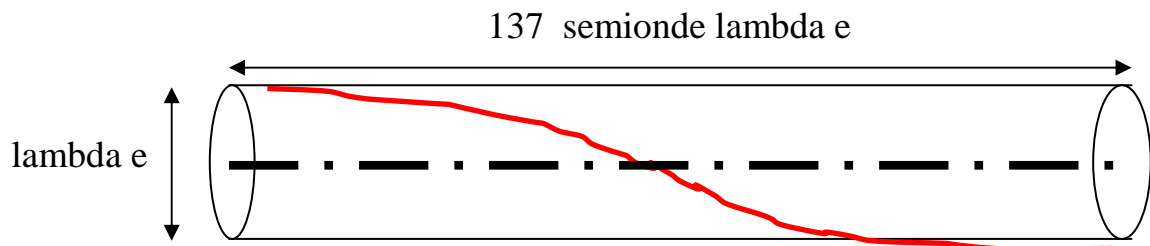
La ciambella, “toro” in matematica, ha un diametro  $\lambda$  e, caratteristico della “dimensione” dell'elettrone.

La lunghezza *complessiva* del filo è eguale alla lunghezza d'onda  $\lambda c$  dell'elettrone.

In due giri si avvolge a elica una intera lunghezza d'onda. In un giro si avvolge mezza lunghezza d'onda.

Infine sulla circonferenza, a tratteggio in figura, è contenuto esattamente un numero *intero* 137 di semionde  $\lambda e$ .





La cosa è abbastanza interessante.

In parole povere in queste condizioni sono chiamate in causa tutte grandezze caratteristiche dell'elettrone, vale a dire non c'è una introduzione forzata di grandezze estranee.

Nello stesso tempo viene richiamata nuovamente la forma del nastro di Moebius. Tutto questo ..... interpreta la misteriosa relazione che giustificherebbe il valore della costante di struttura fine.

L'inverso della costante di struttura fine, come mostra un facile calcolo geometrico, è dato dalla ipotenusa di quel triangolo.

Il 137,036.....eccetera eccetera non nascerebbe quindi a caso ma sulla base di uno specifico modello geometrico.

Ora bisogna dire che la costante di struttura fine è oggetto di continue misure.

Una misura dei tedeschi molto accurata [19] dava negli anni '90 il valore 137,0360108 con una differenza percentuale di *quaranta miliardesimi* rispetto a 137,0360157. Questi valori mi sembrarono troppo vicini perché si potesse pensare ad una semplice coincidenza casuale. Inoltre il richiamo del nastro di Moebius mi parve impressionante.

Per questo nel 1998, sapendo che lavorava sulla struttura dell'elettrone, comunicai via e.mail questi calcoli a David Hestenes, ed ebbi la seguente risposta:

*"Thanks for your interesting numerics on the fine structure constant. Of course, no one will give it much credence until it can be derived from equations of motion for the electron and its interaction. I still think that it is possible.*

*Cheers...D. Hestenes"*

Ossia: "interessante, ma tanto non ci crederà nessuno se non riesci a scrivere delle

equazioni che giustifichino tutte le proprietà dell'elettrone. Io credo ancora che si possa fare".

Ed è proprio perché io non ci sono riuscito che ho deciso di scrivere un racconto.

Possiamo riassumere.

Nel paragrafo precedente avevamo fatto un ragionamento *fisico*, su una corrente. Ora abbiamo fatto un ragionamento *numerico*, del tutto svincolato dal precedente, sulla costante di struttura fine. Entrambi portano allo stesso risultato. Fra un po' faremo un ragionamento *elettrico* che ancora conduce allo stesso risultato. Questi indizi concomitanti diventano significativi.

Per i lettori che fossero dei fisici è opportuno non tacere il fatto seguente. Nel ragionamento è stata introdotta una piccola lunghezza d'onda  $\lambda$  e. E' stato poi tirato in ballo un numero intero di mezze lunghezze d'onda  $\lambda$  e.

Ma perché costoro dovrebbero stare nell'elettrone? Alla piccola lunghezza d'onda  $\lambda$  e si assocerebbe una grande frequenza, 137,036 volte la frequenza caratteristica dell'elettrone. Secondo la meccanica quantistica ciò porta di pari passo a considerare una energia o una energia a riposo ovvero una massa pari a 137,036 volte la massa dell'elettrone. Chi è costei?

Di fatto una massa del genere, nelle particelle elementari, esiste. Esistono "blocchi di massa pari a multipli di 137,036 diviso 2 masse elettroniche", anche se...del tutto inspiegati. Il fisico giapponese Nambu aveva addirittura proposto una formula delle masse delle particelle che tenesse conto di questi blocchi [20].

Possiamo quindi concludere che una frequenza associata alla piccola lunghezza d'onda  $\lambda$  e non è poi così strana, anche se indubbiamente è curioso che essa faccia già la sua comparsa nell'ambito della struttura geometrica dell'elettrone, il quale questi blocchi di massa non ce li ha.

Questo indicherebbe una *substruttura*. Blocchi di massa così li ha il cugino maggiore dell'elettrone, il muone; li ha pure il mesone pi greco e questo potrebbe indicare qualcosa. Ma proseguiamo.

### 3.5- Una pulsazione nello spazio

Ripercorriamo il cammino fatto. Abbiamo pensato all'elettrone come a una corrente prodotta da un campo elettromagnetico, ma con una semionda dispari che giustifica il passaggio di carica. E come fa l'elettrone a stare sul posto? Il modo più ovvio è che il campo elettromagnetico ruoti su sé stesso, e ciò deve avvenire su un nastro di Moebius. Un'onda disegnata su un nastro di Moebius presenta difatti necessariamente  $n$  periodi interi più un mezzo periodo "dispari". Abbiamo quindi una maniera con la quale un puro campo elettromagnetico può, ruotando su sé stesso, giustificare una carica elettrica. Abbiamo poi visto che se il nastro è largo  $\lambda_e$ , ed è fatto di un numero intero  $137$  di semionde  $\lambda_e$ , la lunghezza complessiva del filo che è bordo del nastro è pari a una lunghezza d'onda Compton  $\lambda_c$ . Ciò consente di "ricavare", si fa per dire, la costante di struttura fine. Inoltre, visto e considerato che  $\lambda_c$  è la lunghezza d'onda con la quale i fotoni "vedono" l'elettrone, tutto ciò che abbiamo visto è soddisfacente. Almeno in un libro di fantasia.

In parole povere cosa succede? Succede questo, che il modello, oltre ad essere suggestivo, ripropone parametri fisici dell'elettrone e "calcola" la costante di struttura fine.

Questo è tutto ciò che abbiamo visto.

Ma perché il nastro dovrebbe esser largo  $\lambda_e$ , ossia proprio quel numero?

Di nuovo a forza? Per fare comodo a noi affinché ci tornino i calcoli? Per consentirci di dire che abbiamo spiegato il mistero della costante di struttura fine?

*"Perché  $\lambda_e$  e? Solo per far tornare i conti"?*

Però esiste un'altra curiosa coincidenza che lo giustificherebbe.

Riassumo e poi la illustro.

Calcoli di elettrotecnica ci hanno precedentemente mostrato la esigenza che intervenga una resistenza di  $25812,8$  ohm. Abbiamo poi scoperto che questa resistenza esiste. Essa è ripetutamente intervenuta nei calcoli. E' forse legata a qualche aspetto della geometria del nastro?

Quale corrispettivo geometrico ha questo valore?

O meglio ha un corrispettivo geometrico?

*"Da cosa è generato questo valore di  $25812,8$  ohm?"*

Ebbene esiste un indizio che sembra collegare questi due misteri in modo che, per lo meno, l'uno spiega l'altro, e si riducono a un mistero solo.

*"La geometria è tale da imporre contemporaneamente i  $25812,8$  ohm e la dimensione  $\lambda_e$ ."*

Ossia: non è necessario fare due ipotesi per spiegare le cose. Fattane una, l'altra segue necessariamente.

L'indizio nasce dalla cosiddetta tecnica delle iperfrequenze e ci è fornito dalle guide d'onda.

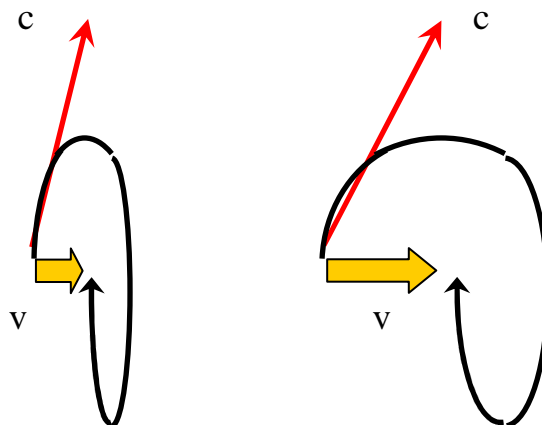
Semplifico un po' le cose per renderle visibili.

Consideriamo il moto a elica di un campo elettromagnetico che avanza in guida in polarizzazione circolare

La teoria delle guide d'onda consente di trattare esattamente questo fenomeno.

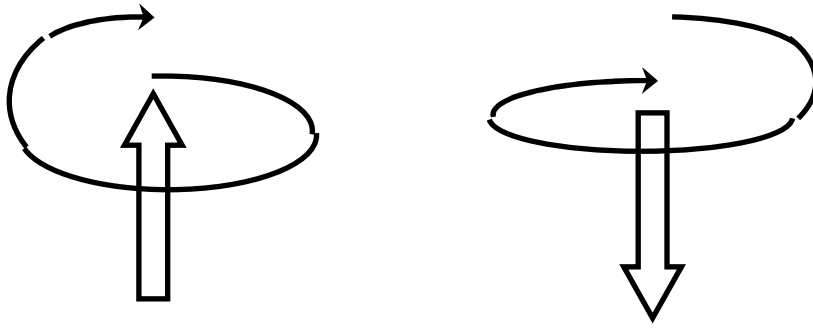
Lo abbiamo già descritto:

il campo viaggia a velocità  $c$  sull'elica, ma si propaga a velocità  $v$  lungo la guida d'onda. Si propaga seguendo un'elica  $e$ , a seconda della velocità "v" con la quale il campo avanza in guida, l'elica è diversamente inclinata.

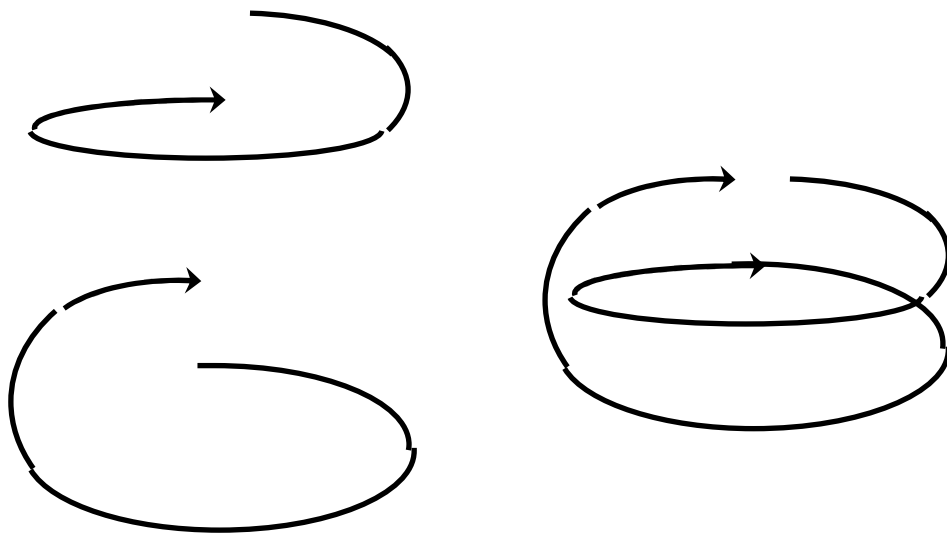


Ad ogni inclinazione dell'elica la teoria delle guide d'onda associa il valore di una resistenza, la "impedenza d'onda", impedenza che il campo elettromagnetico vede nel suo spostamento assiale. Il suo valore si può calcolare facilmente con la teoria della propagazione in guida. Il valore dipende dalla inclinazione dell'elica  $\theta$ , il che è lo stesso, dalla velocità  $v$  di spostamento assiale

Esaminiamo ora il nastro. Se lo guardiamo attentamente nella direzione assiale, ci accorgiamo che anche lui è fatto... da due passi di elica, solo che in questo caso un passo di elica. va avanti, e poi un secondo passo di elica... torna indietro.



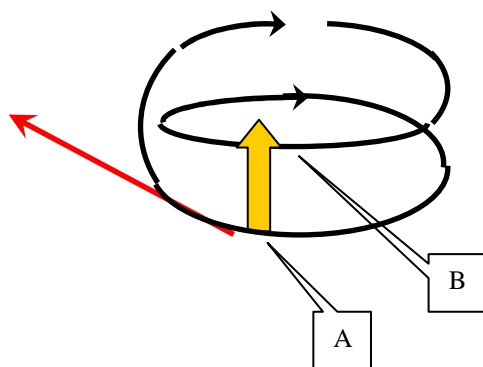
Forse riusciamo a convincercene meglio se fabbrichiamo i due passi di elica con il filo di ferro, e poi li uniamo a formare il nastro. Costruiamoli esagerati, fuori scala, per capire meglio e vediamo che è proprio così.



Come viaggia il campo elettromagnetico sul nastro? Abbiamo sostenuto, rammentiamo, che un campo elettromagnetico regge tutta la baracca, è *lui* ad essere equivalente a una corrente che scorre, a una carica che ruota, a un circuito nello spazio vuoto. Il campo, indubbiamente, gira in circolo. Poi se lo consideriamo anche nella direzione assiale, va avanti e indietro. Pulsa avanti e indietro.

A quale velocità viaggia?

Consideriamo una, per così dire, porzione del campo che viaggia da A a B, e poi ritorna in A.



Le dimensioni del nastro, che abbiamo calcolato, ci dicono che il campo ha percorso in circolo una lunghezza complessiva  $\lambda c$  alla velocità della luce. Nello stesso intervallo di tempo, ha fatto avanti e indietro per un cammino complessivo pari a due volte  $\lambda e$ . La velocità in circolo e la velocità di spostamento assiale stanno quindi fra loro nello stesso rapporto  $c/v$  che  $c$ 'è fra  $\lambda c$  e due volte  $\lambda e$ . Questo rapporto lo conosciamo, è 137,036 diviso per due, pari a 68,518. In definitiva la velocità  $v$  di spostamento assiale è conosciuta. Essa è 68,518 volte più piccola della velocità della luce.

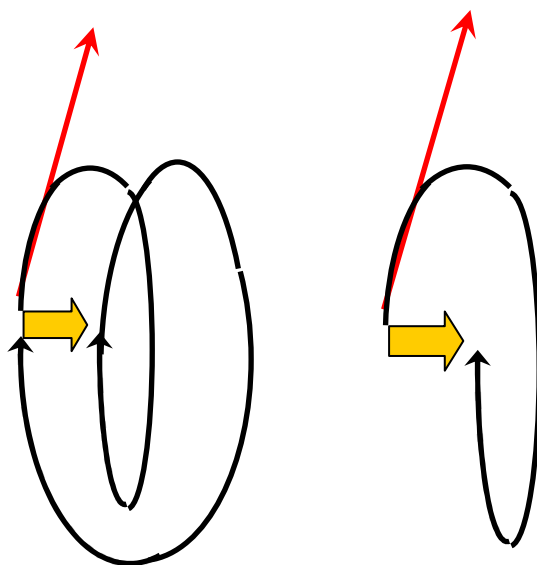
E quindi quale impedenza vede il campo elettromagnetico?

In verità non sapremmo rispondere direttamente ma la teoria delle guide d'onda ci viene in aiuto [16]. Avevamo visto che in guida d'onda si è in grado di calcolare l'impedenza vista dal campo elettromagnetico per ogni valore di  $v$ .

Qui  $v$  la si conosce e la risposta è:

**a una velocità  $v$  68,518 volte più piccola della velocità della luce corrisponde una impedenza di 25812,8 ohm.**

Questo significa che il dato di 25812,8 ohm è implicito nelle dimensioni che abbiamo calcolato per il nastro.



Si può pensare a circostanze numeriche puramente casuali, ma non è così. Questa coincidenza di forme dei passi di elica non mostra una coincidenza numerica, bensì una coincidenza di comportamento fisico.

Tutto porta a pensare alla propagazione del campo elettromagnetico sul nastro di Moebius come a una propagazione ondosa, nella quale il campo vede un'elica, a cui corrisponde una impedenza di 25812,8 ohm; dopodiché fatto un passo di elica in avanti il campo torna indietro, poi torna avanti e via via si palleggia così avanti e indietro. Come in un circuito L C. Contemporaneamente le dimensioni caratteristiche del nastro *devono* stare nel rapporto  $\lambda c / \lambda e$ .

E' opportuna una riflessione.

Questa faccenda del nastro di Moebius è interessante non tanto per le spiegazioni numeriche, che possono apparire il risultato d'una ricerca voluta a forza e trovata in un modo più o meno artificioso, quanto per le interpretazioni che fornisce di fatti e circostanze, che nessuno s'è immaginato di richiedere.

Il modello fornisce conseguenze impreviste.

Alcune le abbiamo già trovate. Ne troveremo altre.

Prendiamo per esempio il famoso "spin metà" dell'elettrone, di cui parleremo più avanti. Ne viene data una interpretazione spontanea e non richiesta [n9]. Un altro caso che impressiona è quello della carica elettrica. Si potrà interpretare la carica elettrica come una polarizzazione interna. Lo vedremo più avanti.

Poi il nastro, trattato come un circuito elettrico a parametri distribuiti, giustifica una risonanza di corrente con tutti i parametri *questa volta esatti* dell'elettrone.

Questo lo vediamo ora.



### 3.6- Una circolazione eterna

In quanti hanno immaginato vortici? Riferiva Heisenberg che al termine di una conferenza uno spettatore l'aveva avvicinato commosso, ringraziandolo perché, diceva: "Lei mi ha fatto capire che alla base di tutto ci sono piccoli vortici".

Heisenberg non aveva assolutamente parlato di questo, ma lo spettatore era egualmente contento perché s'era rafforzato in una sua convinzione.

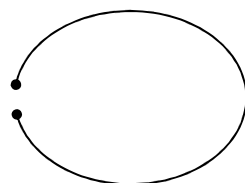
Cercando di immaginare una costituzione puramente elettromagnetica per l'elettrone siamo stati costretti o condotti a farci delle immagini, e quella di un circuito elettrico spaziale ci ha consentito di appoggiarci alla teoria dei circuiti oscillanti, delle guide d'onda.....Adesso che abbiamo raggiunto una idea più precisa di questo ipotetico circuito possiamo dire qualcosa di più?

Avevamo immaginato un circuito oscillante o come si dice anche "risonante". Quello che avevamo immaginato è per la precisione un circuito risonante parallelo, un circuito che mantiene eternamente una tensione oscillante ai suoi capi, mentre all'interno gli circola una corrente. E' anche quello che si chiama un "circuito a parametri concentrati", tutte le sue caratteristiche elettriche gli sono fornite da questi valori di  $L$  e  $C$ , che sono immaginati "concentrati" nella bobina e nel condensatore. Il filo che li collega non conta.

Ma per altissime frequenze in gioco il discorso cambia: diventa anzi il filo ad essere importante, ovvero...basta il filo a fare da bobina e da condensatore.

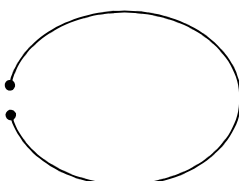
Lo possiamo immaginare molto bene se riconsideriamo il gioco di palleggio della energia che avevamo visto. Senza approfondire troppo la cosa, il modo più drastico per vederla è di ripetere il giochino del palleggio di energia per un pezzetto di filo (e questa volta la forma fisica del filo conta).

Consideriamo un pezzetto di filo che sia fatto, per esempio, in questo modo:

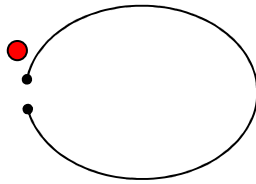


Su di esso possiamo visualizzare lo stesso palleggiamento di energia che avevamo visto nel circuito oscillante  $L C$ .

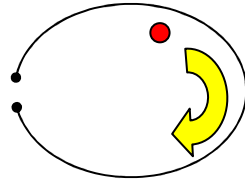
Condensatore scarico



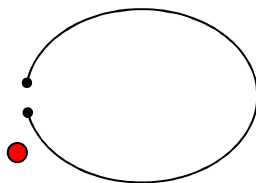
Energia potenziale



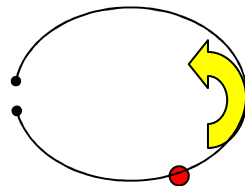
Energia cinetica



Energia potenziale



Energia cinetica



Questa volta i valori di  $L$  e  $C$  non sono più concentrati in elementi fisici, la bobina e il condensatore, ma sono distribuiti lungo tutto il filo e il loro valore dipende dalla geometria. Questo è un esempio di circuito a parametri distribuiti.

Ma che vuol dire “distribuiti”? distribuiti come? come facciamo a fare dei conti? Si guardi l’esempio che abbiamo fatto. Davanti a noi vediamo.....un filo. Quali  $L$  e  $C$  mettiamo nei conti?

A questa e ad altre domande c’è una risposta. Ci sono vari metodi di lavoro. Uno di questi è, partendo da un circuito a parametri distribuiti, quello di creare un “circuito equivalente a parametri concentrati” [21]. Dopodiché questo lo potremo trattare con le vecchie tecniche.

Probabilmente non è il caso di tediare il lettore con troppi dettagli, qualche calcolo esatto è nelle Note finali [n6]. Posso accennare al metodo.

Si può costruire un circuito equivalente a parametri concentrati con il metodo della risposta all’impulso. Cosa è? Spieghiamolo con un esempio . Immaginiamo un circuito , o un qualunque oggetto fisico a parametri distribuiti, di cui si voglia il circuito equivalente. Il circuito equivalente, se l’oggetto in questione non dissipa ma si limita a vibrare senza dissipare energia, sarà formato di elementi che non dissipano energia, in pratica bobine  $L$  e condensatori  $C$ , ma senza resistenze  $R$  che dissipano energia (questa ipotesi non è necessaria ma serve per rendere più chiaro l’esempio).

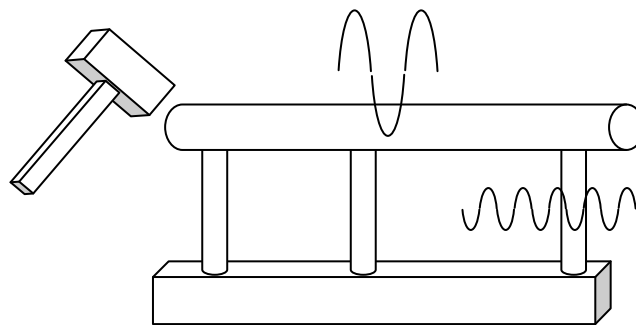
Chi può essere questo oggetto in studio che non dissipa energia ma si limita a reagire vibrando? Possiamo pensare alla ringhiera metallica di un balcone con dei fili sempre metallici per stendere il bucato, a un ponte in acciaio, a una chitarra a sei corde ben tese e altre cose del genere. Questi oggetti in prima approssimazione vibrano senza dissipare. Se vibrano su certe frequenze o “note” caratteristiche, ragionevolmente nel circuito equivalente a parametri concentrati compariranno più oscillatori L C. Ognuno di questi terrà conto di ogni nota.

Allora come si fa a individuare il circuito equivalente dell’oggetto?

Concettualmente gli si dà una grossa martellata.

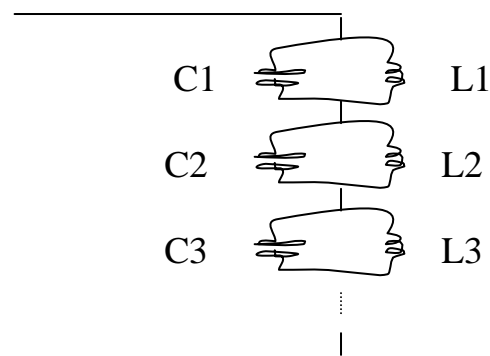
Il sistema entrerà in vibrazione alle sue frequenze caratteristiche, con intensità caratteristiche per ciascuna frequenza. Questo identificherà gli oscillatori L C del circuito equivalente.

In pratica la martellata è una martellata matematica, è la eccitazione del sistema con un impulso, la “funzione delta di Dirac” (ancora lui, ma questo non ha a che fare con la equazione). Il metodo di ricostruzione delle frequenze caratteristiche è ancora matematico.



Facendo questo con il nastro di Moebius il risultato è il seguente.

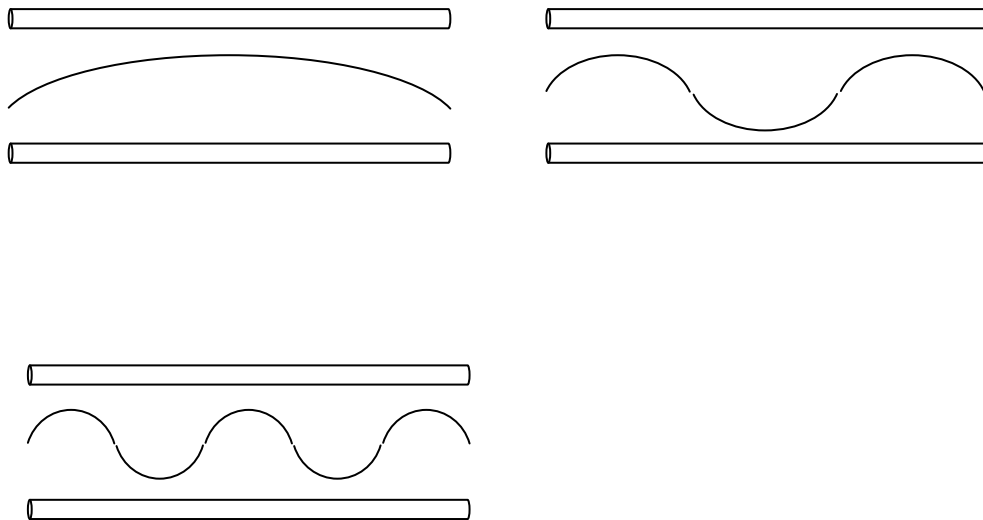
Il nastro di Moebius non equivale ad un semplice oscillatore L C come avevamo semplicisticamente supposto, ma ad una serie teoricamente infinita di oscillatori di cui il primo ha valori  $L_1$  e  $C_1$ , il secondo  $L_2$  e  $C_2$  e così via.



Di questi il primo è in grado di risuonare alla lunghezza d'onda  $\lambda c$  e alla frequenza dell'elettrone.

Il secondo a una frequenza tripla, il terzo a una frequenza quintupla e così via.

Il risultato se si riflette non è strano: esso non fa che confermare ciò che constatiamo dalla geometria del nastro e dalle sue dimensioni, che ora conosciamo. Su di esso si accomoda una semionda  $\lambda c$ , ma anche tre semionde a frequenza tripla, cinque a frequenza quintupla e così via.



I valori di  $L1$  e  $C1$  sono ora leggermente diversi da quelli che trovammo, in particolare è diverso il rapporto  $L1/C1$ . Si ricorderà che dicemmo che le cose tornavano quasi esattamente. Ora con questa interpretazione più realistica del nastro, un circuito a parametri distribuiti, i numeri tornano *esattamente* [n7].

Proviamo a tirare una conclusione.

Possiamo affermare di essere arrivati a un modello completo dell'elettrone?

Certamente no.

E' bensì vero che il modello presenta una serie di graziose proprietà.

Ad una corrente viaggiante in circolo si associa una energia a cui corrisponde la massa dell'elettrone [n8]. L'impulso in rotazione giustifica esattamente il valore dello spin dell'elettrone [n9]. La carica in rotazione fornisce il valore esatto del momento magnetico dell'elettrone [n10]. Quando il tutto è in moto sono esattamente soddisfatte le formule che prevedono il comportamento meccanico di una particella elementare [n11]. Il sistema, fermo o in moto, esibisce esattamente i valori di lunghezza d'onda [n12] che prevede l'onda "psi" della meccanica quantistica. Tutto a partire, fondamentalmente, da una unica ipotesi: c'è una corrente in rotazione, un campo elettromagnetico in rotazione. Apparentemente ci è stato possibile costruire un modello completo.

Tutto è a posto?

Quasi. Peccato che nessuno dei calcoli fatti dimostri qualcosa.

Tanto per cominciare le equazioni di Maxwell non prevedono nessun campo elettromagnetico che possa ruotare così. Le equazioni di Maxwell non ammettono nessun campo elettromagnetico che possa starsene impacchettato, nel vuoto. Siamo stati costretti a tenerlo lì, immaginando un ipotetico circuito che gli facesse da vincolo.

Inoltre i cosiddetti calcoli che abbiamo citato sono nel loro insieme a dir poco discutibili. Non si può ricorrere di volta in volta all'elettrotecnica, alla teoria delle guide d'onda, alla teoria delle linee o dei circuiti a parametri distribuiti, alla meccanica quantistica, in maniera slegata e senza un modello coerente nel suo insieme. Questo al momento non ci è stato possibile.

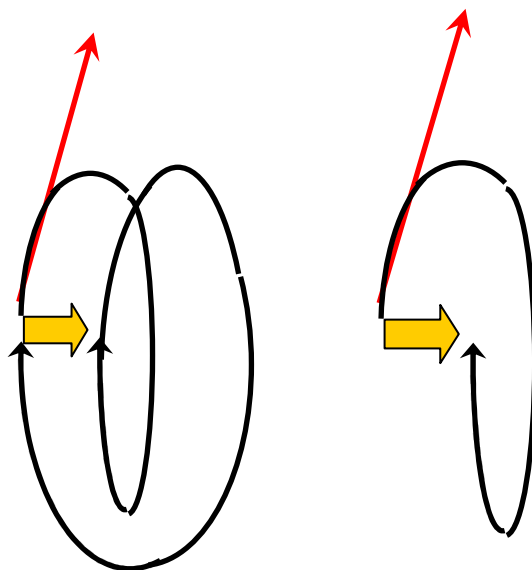
Infine anche presi uno alla volta i cosiddetti calcoli sono criticabili. Non sono in grado di dimostrare realmente qualcosa. Possiamo solo dire che con certe ipotesi semplificative, che di volta in volta vengono fatte, compaiono delle assonanze, sembra che i conti tornino.

Indizi.

Indizi che ci suggeriscono la struttura dell'elettrone.

Potremmo dire: non abbiamo le equazioni rigorose. Peccato. Però abbiamo l'elettrone, che se ne sta lì a suggerirci che potrebbe essere fatto così.

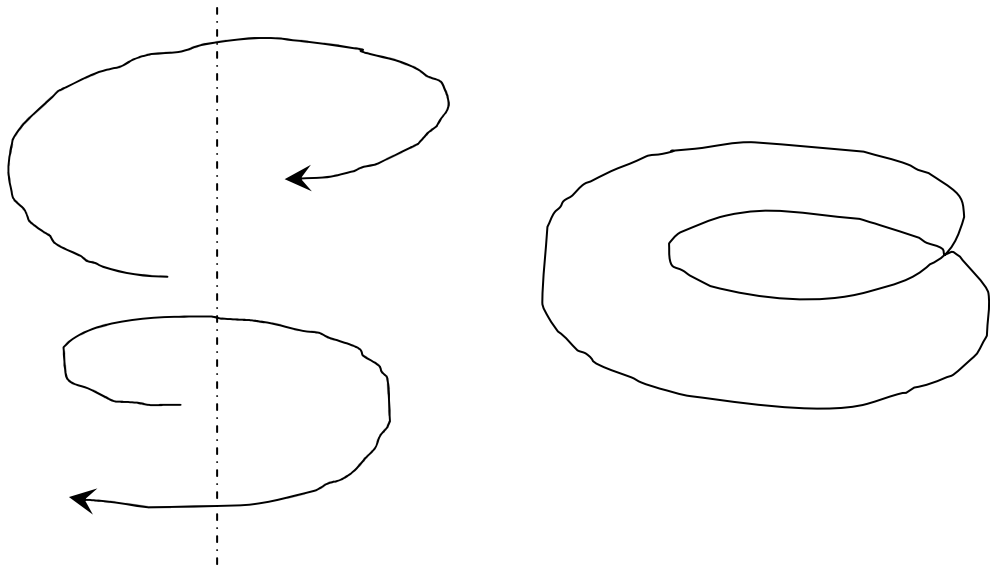
Questo in un racconto fantastico è lecito.



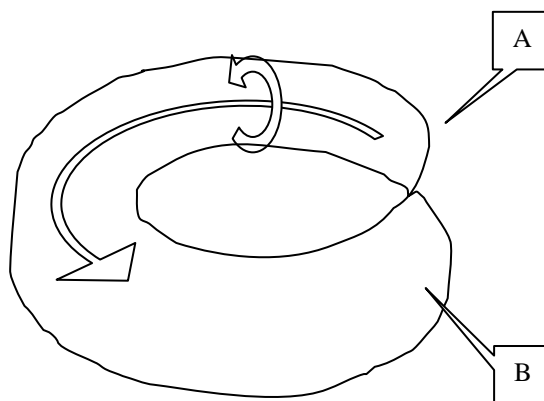
## 4- IL MODELLO DI HESTENES

### 4.1- Eliche a gogo

Esporrò ora il modello di Hestenes ma prima, ad evitare confusione, precisiamo il contesto in cui in più occasioni adoperiamo la parola “elica”. Abbiamo già parlato di eliche, e ancora capiterà di farlo. Cominciamo dall’ultimo caso visto. Dico che guardando il nastro nella direzione dell’asse tratteggiato si vede che è fatto di due passi di elica. Questa è indubbiamente un’elica. Una grande elica. E’ già capitato di usare la parola “elica” per riferirsi a questa elica.

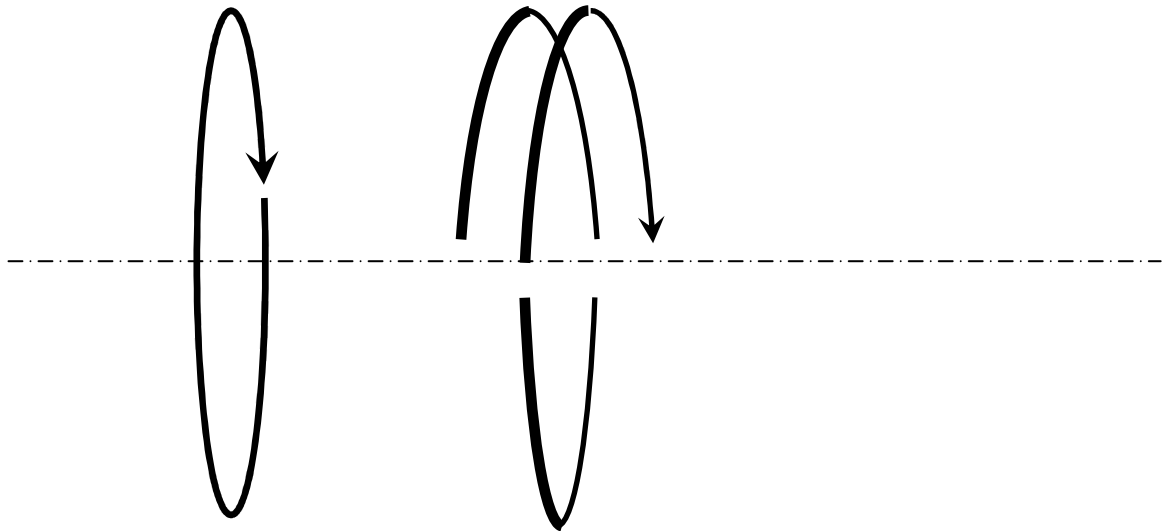


E’ però lecito anche leggere un secondo avvitaamento ad elica. Si immagini di correre sul filo da A a B e poi di nuovo ad A. Si constaterà che ci stiamo avvitando, internamente, ad elica. E’ questa un’elica di piccolo diametro, un’elica interna. Anche in questo caso si usa la parola “elica”.



C'è poi un terzo caso ed è il caso di qualcosa che sta fermo ruotandosene in cerchio. Vediamo un moto circolare. Se questo qualcosa va in moto, invece di vedere un cerchio vedremo un'elica.

E' la situazione che abbiamo incontrato parlando del campo elettromagnetico in una guida d'onda circolare.



E' importante quindi capire bene in ogni caso di quale tipo di elica si sta parlando.

Le eliche di cui parla Hestenes sono di quest'ultimo tipo.

Fatte queste precisazioni, passiamo a esporre il modello che Hestenes ha proposto per l'elettrone.

## 4.2- “Eppure gira!”

Abbiamo accumulato molti indizi. Si dice talvolta “tre indizi costituiscono una prova”, ma in ingegneria e in fisica tre, o quattro, o molti indizi non costituiscono una prova.

Restano indizi.

Abbiamo fantasticato sulla possibilità che l’elettrone abbia quella struttura. Con ragionamenti del tutto differenti David Hestenes ipotizza e propone un modello per alcuni versi rassomigliante, sia nella struttura, che nei numeri.

Per dirla approssimativamente e in parole povere, il modello ipotizza che l’elettrone sia fatto di campo elettromagnetico che ruota in circolo.

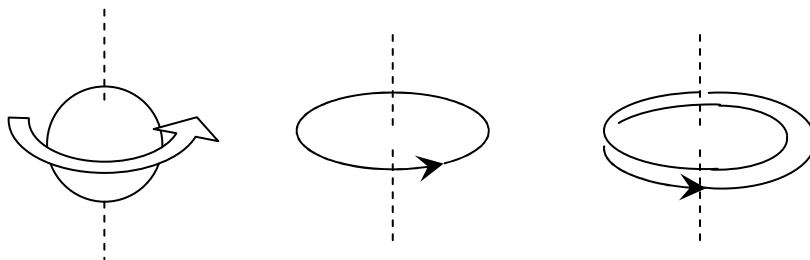
Si dirà: “Ancora!”...

In effetti, le riflessioni dell’umanità hanno talvolta un aspetto curioso. Si constata che spesso, poco prima di una scoperta, molti ci stavano ragionando sopra.

Hestenes parla [11] di “multiple discoveries”.

Egli si riferisce ad un altro argomento, ma il concetto è generale. Una scoperta avviene quando i tempi sono maturi perché avvenga. In un certo senso si constata che quando una scoperta avviene, ebbene in quel momento il contesto l’ha resa quasi inevitabile. Molti individui ci stanno ragionando sopra. Molti individui, in posti diversi e in tempi diversi, stanno insistentemente facendo gli stessi ragionamenti. Probabilmente, dice Hestenes, questo è un punto di vista estremo, ma è l’estremo opposto di quello, egualmente esagerato, che attribuisce una scoperta al singolo colpo di genio di un individuo isolato.

In questo caso invece che di scoperte multiple potremmo parlare di idee insistenti. Non c’è stata difatti finora nessuna scoperta che sia stata in grado di, come diceva Einstein, farci *realmente capire* l’elettrone. Però ci sono idee insistenti. Una idea insistente è quella di qualche cosa che gira in circolo.



Molti fisici ci avvertono che è ingenuo, ovvero sbagliato, pensare all’elettrone come a un qualche cosa che gira in circolo. Però l’elettrone mostra le proprietà di qualche cosa che ruota. Quasi tutti i trattati divulgativi di meccanica quantistica ci dicono pressappoco la stessa cosa: l’elettrone per certe sue proprietà è come una trottola, ma non bisogna immaginarsi che sia realmente una trottola. Le ragioni di questa impossibilità sono molteplici. Una, non l’ultima, è la seguente. Un qualcosa che gira



in tondo possiede un “momento angolare”. Il momento angolare è una grandezza che, per dirla con parole approssimative, misura la intensità di rotazione.

L’elettrone mostra un momento angolare, lo spin dell’elettrone.

Se però lo si considera una trottola, una pallina che gira in tondo, e si fanno i calcoli dello spin, i conti non tornano. L’elettrone ha spin *metà* di quanto dovrebbe, se fosse una trottola.

Conclusione: per questa e molte altre ragioni è ingenuo e sbagliato pensare all’elettrone come a un qualcosa che gira come una trottola. Scrive Persico, già nel ’39: “ Questo modello si è ben presto dovuto abbandonare...” [22].

Ma ostinatamente alcuni fisici hanno continuato a pensare a qualcosa che gira. Negli ultimi decenni questa è diventata un’idea insistente. Molti, in luoghi e tempi diversi, hanno proposto una immagine fisica dell’elettrone come un qualcosa che gira. Uno di questi è David Hestenes.

I lavori di Hestenes toccano svariati argomenti, portati avanti con un mezzo matematico nuovo da lui inventato, o “riscoperto” come lui dice a volte, che rielabora l’algebra di Clifford [23].

Per quasi quaranta anni il lavoro innovativo di Hestenes è stato poco considerato salvo da una schiera di appassionati sostenitori a Cambridge [24].

Tuttavia nel 2000 egli ha infine ottenuto un importante riconoscimento dal mondo accademico, la Oersted Medal per l’insegnamento della fisica. Questo è un premio meno noto al pubblico rispetto al Nobel, ma che comunque nel passato ha premiato personaggi illustri fra i quali per esempio Oppenheimer, Richard Feynman, Arnold Sommerfeld fra i tanti.

David Hestenes come abbiamo detto si è impegnato a fondo su un modello interpretativo dell’elettrone.

Probabilmente l’articolo che meglio esprime le sue idee è “Quantum Mechanics from Self – Interaction” [5], anche se dopo dice [25] “nonostante i suoi difetti”. In [26] viene data una interpretazione definitiva matematicamente “well – grounded” della teoria di Dirac sulla base di queste sue idee.

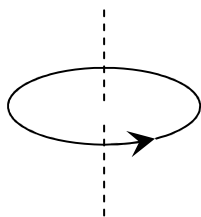
Egli parte dalla meccanica quantistica.

In [5] egli dice (traduco liberamente):

*Metteremo in evidenza che una interpretazione alla lettera dello zbw (zitterbewegung, concetto introdotto da Schroedinger per spiegare certe oscillazioni ad alta frequenza che nascono nella teoria di Dirac dell’elettrone) implica che l’elettrone sia sede di un campo elettromagnetico simile alle onde pilota di De Broglie.*

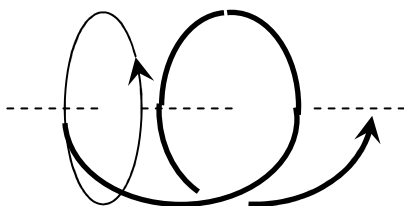
Più avanti egli dice:

*Lo zbw è un moto circolare la cui circonferenza è  $\lambda c$ , lunghezza d’onda Compton dell’elettrone. e il cui centro chiameremo centro di zbw.*



E poi ancora:

*La traiettoria dell'elettrone in moto è un'elica che si avvolge intorno al moto del centro di zbw.*



In [27] troviamo una ulteriore esposizione di idee, che sintetizzo con parole mie:

*La teoria di Dirac ci suggerisce qualcosa che ruota. I fisici vorrebbero capire se veramente si può interpretare l'elettrone come qualcosa che ruota. Alcuni fisici hanno provato a interpretare l'elettrone come una piccola pallina ruotante. Ma questo introduce una serie di complicazioni teoriche e non aiuta più di tanto. Assieme ad Asim Barut (nota: un altro fisico) e ad altri io penso che sia molto più promettente la seguente idea. L'elettrone va pensato come un punto, privo di massa e con una carica elettrica  $q=e$ , che esegue un minutissimo moto a elica, chiamato zbw, che è l'origine dello spin. Il campo elettrico statico dell'elettrone sarebbe allora il valore medio di un campo elettromagnetico oscillante generato da questo moto di zbw. La frequenza di questo campo elettromagnetico sarebbe eguale alla frequenza dell'onda di de Broglie dell'elettrone. Ci troviamo di fronte dunque a una nuova versione del dualismo onda – corpuscolo, nella quale l'elettrone è un punto che ruota, elettricamente carico, e che si porta dietro permanentemente attaccato un campo elettromagnetico ( o onda).*

Troviamo poi in [5]:

*La massa e lo spin dell'elettrone sono così identificati con l'energia e il momento angolare associati alla rotazione ed hanno una origine elettromagnetica (electromagnetic self-interaction). Per risolvere il problema di questa electromagnetic self-interaction e quindi giustificare il moto di zbw sarà presumibilmente necessario partire da acconce equazioni del moto dell'elettrone accoppiate con equazioni del campo elettromagnetico.*

Riassumendo

Hestenes esamina la possibilità che l'equazione di Dirac, l'equazione che in meccanica quantistica descrive l'elettrone, dica qualcosa sulla struttura fisica dell'elettrone.

(Si noti bene che per qualcuno in fisica è già eretico pensare a una struttura dell'elettrone. Ma secondo Hestenes non è così).

L'elettrone secondo lui:

quando è fermo, ruota in circolo, su una circonferenza  $\lambda c$ ;

quando viaggia, descrive un'elica;

la sua onda "onda pilota" si identifica con il campo elettromagnetico.

Con questo, secondo Hestenes, le particelle materiali e tra esse per prima l'elettrone dovrebbero essere descritte da una teoria che ammetta:

*"...bound (or standing) electromagnetic waves, the pilot waves attached to every particle"*

con equazioni che, dice Hestenes [5], "in questo momento non ci provo nemmeno a scriverle" (*"No attempt to divine such equations will be made here"*)

### 4.3- La evoluzione del modello

Non è il caso di entrare in dettagli matematici sul modello di Hestenes, però possiamo provare a raccontarlo, in termini che magari saranno non rigorosi, ma servono a rendere l'idea.

Il modello ipotizza che l'elettrone sia fatto di campo elettromagnetico oscillante, più un punto privo di massa e invece dotato di carica elettrica. Il campo elettromagnetico di cui si parla qui è un normale campo elettromagnetico. Possiamo pensare a un campo elettromagnetico come quello della televisione, del radar, o delle onde luminose. La sua frequenza è enormemente più alta di quella della televisione, del radar, o delle onde luminose. Questo campo elettromagnetico pertanto, per così dire "neutro", non giustifica di per sé la carica elettrica.

Dove sta la carica elettrica? Sta secondo Hestenes nel punto, una "point particle" priva di massa, in moto su un cerchio. Non essendo stata giustificata altrimenti la carica elettrica, siamo costretti ad affibbiare "e", carica elettrica dell'elettrone, al punto in rotazione, come il numero scritto sulla maglia di un ciclista.

Questi due enti, il punto in rotazione che giustifica solo la carica elettrica e il campo elettromagnetico, coesistono. Come fanno a coesistere? Ci vorrebbero, dice Hestenes, delle opportune equazioni che non abbiamo, ma il meccanismo è chiaro. Diciamo che si autosostengono l'uno con l'altro. La carica elettrica che ruota genera il campo. Il campo trattiene in rotazione la carica elettrica, senza che scappi via.

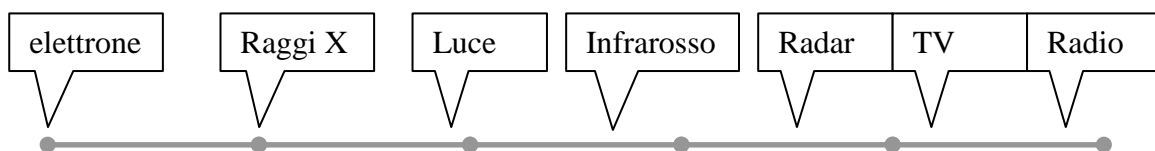
La interazione elettromagnetica fra le due cose, carica e campo, genera la massa e lo spin. Essi, massa e spin, hanno quindi origine elettromagnetica.

La frequenza di oscillazione del campo è uguale alla frequenza di rotazione in circolo della carica elettrica. Come abbiamo detto questa frequenza è altissima.

Nel contempo il cerchio su cui avviene la rotazione è un cerchio piccolissimo.

Facciamolo vedere con una figura.

Nella figura a ogni pallino la frequenza varia di *mille* volte, e così pure la lunghezza d'onda.



0,01 Angstrom   10 Angstrom   1 micron   1 millimetro   1 metro   1 chilometro  
3 Giga Hz   3 Mega Hz

Questo dato, la dimensione del cerchietto, ha subito una evoluzione fra le prime idee di Hestenes [5] e i lavori successivi. Anche qui non è il caso di entrare in dettagli, ma esponiamo i risultati.

Dapprincipio Hestenes supponeva che la circonferenza del cerchio fosse uguale alla solita, e più volte citata, lunghezza d'onda  $\lambda c$ .

Successivamente ha rivisto le sue idee.

La circonferenza del cerchio è uguale a mezza lunghezza d'onda  $\lambda c$ .

Si dirà: emozionante!

In effetti il fatto che la dimensione sia cambiata da una  $\lambda c$  a mezza  $\lambda c$  non è di per sé molto emozionante.

E' sempre un minuscolo cerchietto.

Ma notiamo questo:

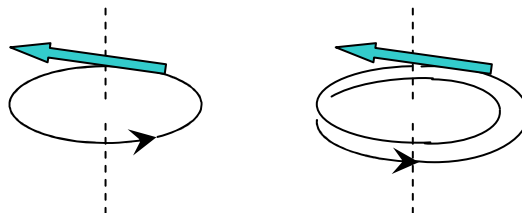
*sulla circonferenza si accomoda una semionda  $\lambda c$ , come nel modello con il nastro di Moebius.*

La rotazione, infine, avviene alla velocità della luce.

Possiamo fare un confronto finale fra i due modelli. Entrambi hanno *la stessa dimensione*. Entrambi prevedono una circolazione *alla velocità della luce*.

Chi circola?

Nel modello di Hestenes circola un punto privo di massa che porta scritto sopra: "io sono la carica elettrica  $q=e$ ". Nel modello con il nastro di Moebius circola una semionda  $\lambda c$  di corrente, che equivale allo scorrere di una carica elettrica  $q=e$ .



Fuori tutto, il risultato finale dei due modelli diventa simile. Ma c'è una importante conseguenza. Il modello con il nastro di Moebius ha una struttura interna. Porta con sé informazioni geometriche più complesse. Queste informazioni vanno interpretate.

#### 4.4- Altri modelli

*“...the same scientific discovery is frequently made by two or more people working independently. (...) Moreover, the more important the discovery, the more likely it is to be multiple”*.D. Hestenes [11].

Da un certo punto di vista è quasi incredibile come a diversa gente (parlo di scienziati e di fisici) frullino in capo, da un po' di anni a questa parte, le stesse idee. Di cosa abbiamo parlato? Se volessi semplificare direi di eliche, di analogie con le guide d'onda e di luce intrappolata. L'elettrone è luce intrappolata. Il movimento a elica, che abbiamo presentato con l'esempio delle guide d'onda, ne giustifica le proprietà di particella. Queste o simili idee sono ricorrenti. La luce si avvolge su sé stessa e resta lì, e forma la materia. La forma dell'elica, sulla quale il moto della luce è perenne, spiega la situazione mediante formule.

Tutto questo è dirompente. L'elettrone è così. Tutto il resto della materia segue a ruota ed è così. Siamo luce. Per un puro fatto tecnologico, non di principio, non siamo in grado di modulare il campo elettromagnetico per realizzare le cose. Ma qualcuno potrebbe essere in grado. O qualcuno l'ha già fatto. Nessuna rivoluzione scientifica ha mai avuto queste dimensioni.

Di queste conseguenze estreme non si parla. Io penso che si abbia timore del ridicolo, si abbia timore di esporsi, si abbia il timore di trarre le conclusioni.

Eppure.....l'elettrone è luce intrappolata. Già dire questo, indipendentemente dalle considerazioni filosofiche sulle conseguenze estreme, è una forma di eresia. Pertanto viene detto con cautela. Sotto forma di ipotesi. Tuttavia l'idea è insistente. C'è chi si espone a pubblicarla.

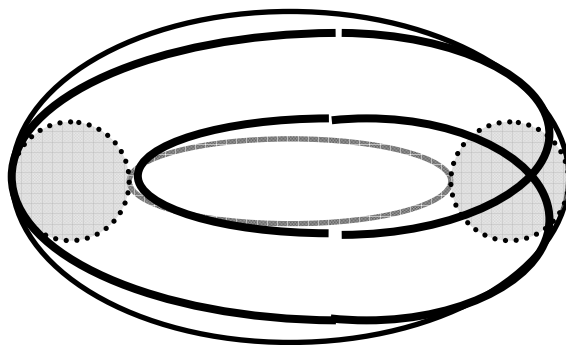
La forma dell'elica si propone anch'essa con insistenza. La natura ha scelto l'elica per la struttura del DNA, e per diverse altre strutture in Biologia. Ma l'elica ha anche una sua naturale predisposizione a spiegare, tramite formule, le proprietà osservate nelle particelle. La cosa urta, è inutile dirlo, contro una serie di difficoltà e controindicazioni teoriche. Tuttavia anche questa è un'idea che, nonostante le difficoltà, molti si arrischiano ad esporre.

Farò solo due esempi [28] [29].

Il primo riguarda la luce intrappolata.

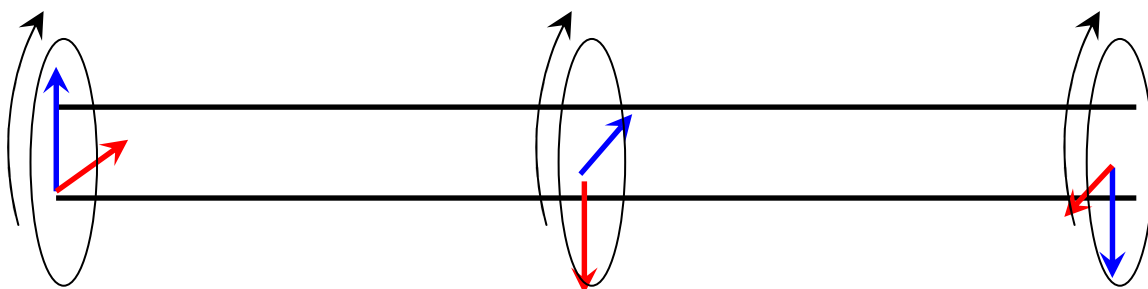
Williamson e van der Mark, il primo della Università di Glasgow e il secondo dei Philips Research Laboratories di Eindhoven, fanno esplicitamente l'ipotesi della luce intrappolata. L'articolo incriminato è “Is the electron a photon with toroidal topology?”, [28], pubblicato negli Annales de la Fondation Louis de Broglie.

In esso si ipotizza che l'elettrone sia un campo elettromagnetico che gira su sé stesso. Il modello rassomiglia molto a quello qui presentato. In particolare si ipotizzano per il campo elettromagnetico traiettorie che si avvolgono su una ciambella (toro). Non viene mai citato un nastro di Moebius, ma tali sono queste traiettorie, esattamente come nelle figura:

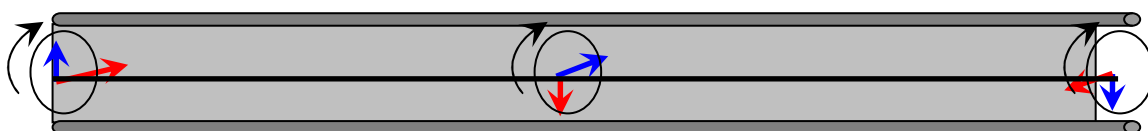


Tutte le “giustificazioni” portate a sostegno del modello sono a dir poco discutibili, ma in sostanza l’idea è molto chiara. Un puro campo elettromagnetico, un singolo fotone come dicono gli autori, si avvolge su sé stesso e giustifica la massa, lo spin, il momento magnetico e la carica elettrica. Gli autori presentano anche una fantasiosa e interessante idea visiva di come potrebbero nascere momento magnetico e carica elettrica. La riassumo così come la interpreto io.

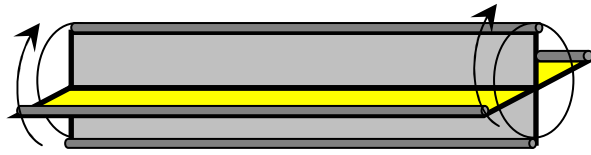
Faccio una affermazione provvisoria: “immaginiamo un nastro e lungo di esso si propaghi una polarizzazione circolare”.



Per essere più precisi potremmo parlare non di “nastro” ma di linea bifilare (i cui “fili” siano i bordi del nastro).

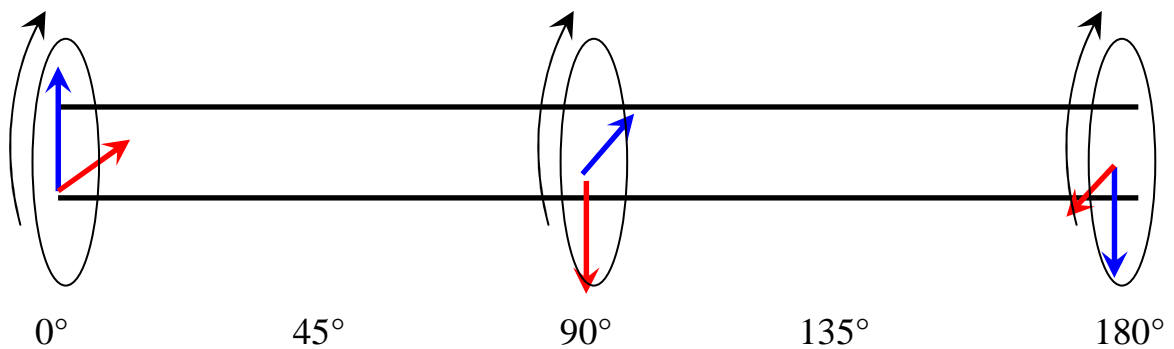


Per gli esperti aggiungo che tuttavia così la cosa non sarebbe ancora soddisfacente, perché una bifilare sosterebbe una polarizzazione lineare verticale e non una circolare. Dunque per sostenere una circolare immaginiamo di avere e di costruire una linea quadrifilare, sulla quale può ora veramente propagarsi una circolare per mezzo delle sue componenti H e V.



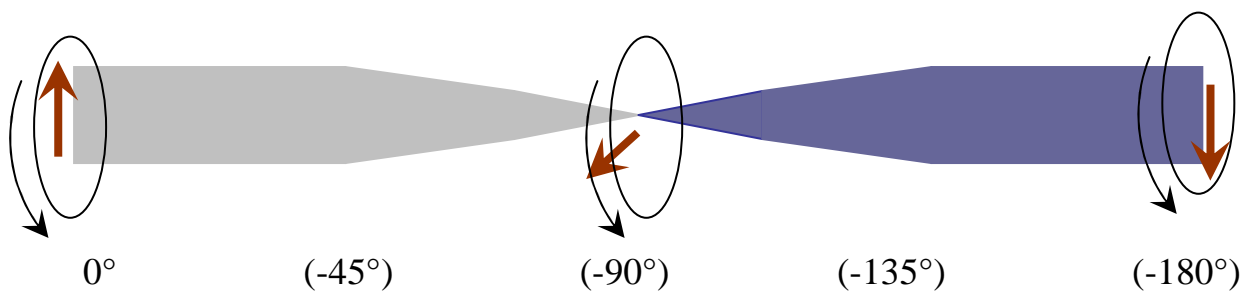
Chiarita la situazione, per praticità di esposizione continuerò a parlare di “nastro”, e sempre per praticità continuerò a disegnare un nastro.

Consideriamo dunque un nastro nei termini precisati e su di esso un'onda elettromagnetica in polarizzazione circolare. Per esempio in figura rosso è il campo elettrico e blu il campo magnetico, l'onda si propaga da sinistra a destra ed avanzando si avvita in senso antiorario. Ho per di più considerato una porzione di nastro o una porzione di onda pari a mezza lunghezza d'onda. I campi ruotano come disegnato in figura,  $0^\circ$  e poi  $90^\circ$  e poi  $180^\circ$ .



Richiudiamo il nastro. L'unico modo col quale si può pensare di richiudere il nastro rispettando le condizioni al contorno è quello di richiuderlo in circolo previa torsione di  $180^\circ$ .

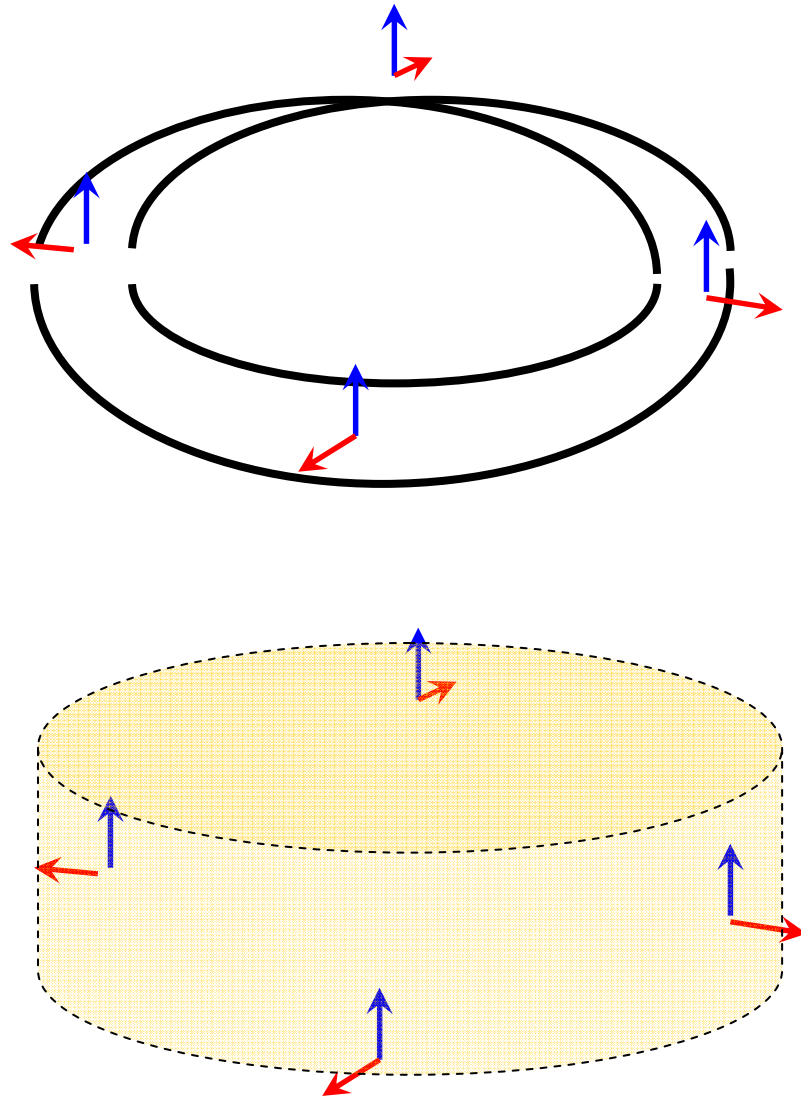
In questo modo tuttavia non solo sono rispettate le condizioni al contorno, ma succede di più. Eseguiamo una torsione del nastro (prima di richiuderlo) che sia contraria alla rotazione del campo, ossia  $0^\circ$  e poi  $(-90^\circ)$  e  $(-180^\circ)$ . Nel disegno la freccia marrone rappresenta la torsione del nastro.



Prendiamo ora in considerazione le vicissitudini dei campi lungo la circonferenza così richiusa (che misura mezza lunghezza d'onda).



Consideriamo ad esempio il campo magnetico, a partire dalla posizione verticale. Dopo un quarto di lunghezza d'onda il campo in polarizzazione circolare ha ruotato antiorario di  $90^\circ$ . Ma la struttura che lo sostiene ha subito nel contempo una torsione in senso opposto di  $(-90^\circ)$ . Pertanto il campo..... è sempre verticale. Lo stesso succede in qualunque altro punto della circonferenza, e quindi la struttura esibisce, nel suo complesso, una componente continua verticale di campo magnetico. Con lo stesso ragionamento si trova che il campo elettrico, se in partenza era diretto in fuori, rimane diretto in fuori.



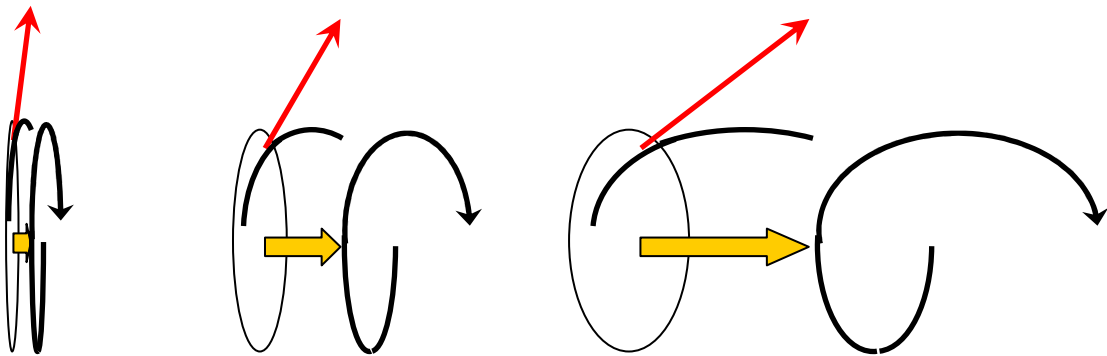
Sempre per gli esperti la situazione finale risponde visivamente e con un poco di fantasia anche alla domanda:

“sulla base delle equazioni di Maxwell la carica dovrebbe scaturire da un flusso di campo e.m. entrante (o uscente) da un volume chiuso diverso da zero. Come si realizza questo?”

Abbiamo ottenuto un campo magnetico che si mantiene verticale, e un campo elettrico che si mantiene uscente verso l'esterno. In questo modo un singolo fotone, di per sé non elettricamente carico, esibisce precisamente le proprietà che ci si attenderebbero da un elettrone (qui, un elettrone positivo, un positrone).

Veniamo al secondo esempio, la forma dell'elica.

La forma dell'elica è sostenuta da T. S. Natarajan (Dipartimento di Fisica, Indian Institute of Technology). In un articolo reperibile su Internet, "Do quantum particles have a structure?", [29], Natarajan presenta idee praticamente identiche a quelle che abbiamo qui esposto. Ancora una volta le "giustificazioni" addotte sono a dir poco discutibili, ma in sostanza l'idea è molto chiara. L'idea è quella qui esposta con l'analogia del campo elettromagnetico in guida d'onda. Vengono così giustificate le proprietà che esibiscono le particelle in obbedienza sia alla teoria della relatività che alla meccanica quantistica. Naturalmente non viene data nessuna spiegazione per la carica elettrica, né si potrebbe, come abbiamo visto.



## 4.5- Confronti

Limitiamoci ad un confronto conclusivo con il modello di Hestenes. Ciò che dice Hestenes è assai più complicato ed io mi scuso con lui per averlo riassunto in termini così brutali ma, come abbiamo visto, ricorda nella geometria e nello spirito il modello al quale siamo qui pervenuti pur secondo considerazioni indubbiamente primitive. Lo ricorda praticamente in tutto.

Salvo che nel nastro di Moebius.

Se lo consideriamo da un punto di vista puramente geometrico il nastro di Moebius è.....una struttura più complicata, rispetto a un semplice cerchio.

*C'è qui in più un twist che il campo elettromagnetico subisce mentre ruota in circolo.*

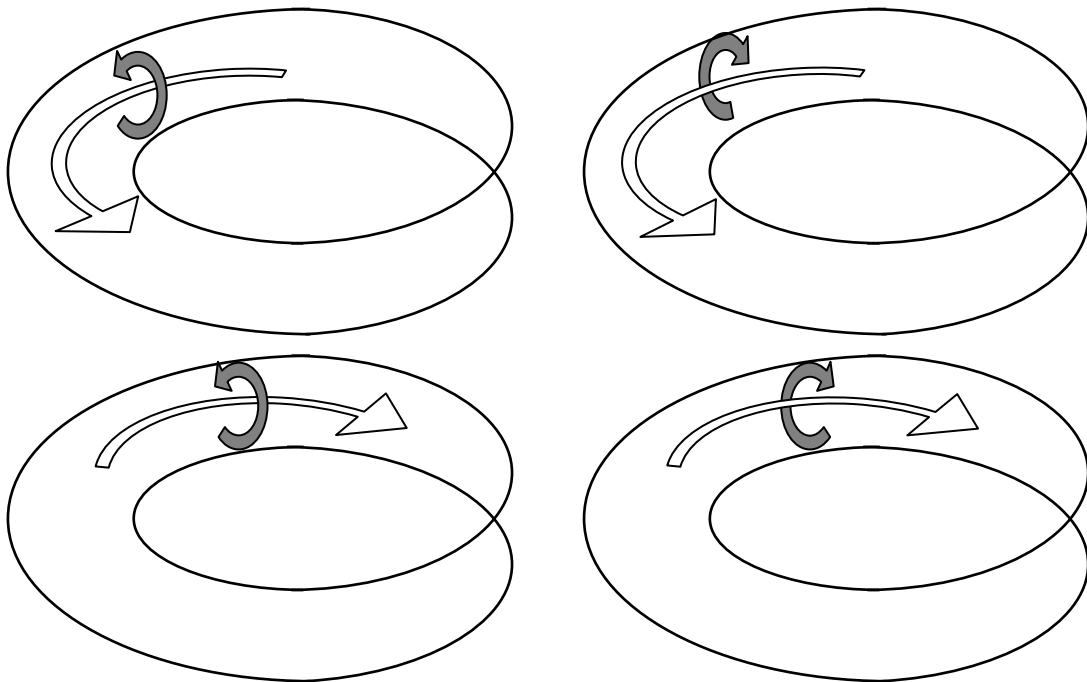
Il twist del nastro di Moebius comporta che una qualunque onda disegnata su di esso inevitabilmente *ruota anche internamente*. Ma geometricamente che vuol dire?

*C'è in più un'elica interna che va interpretata.*

Oltretutto, se si avvolge un'elica su una ciambella, si trovano quattro tipi di elica.

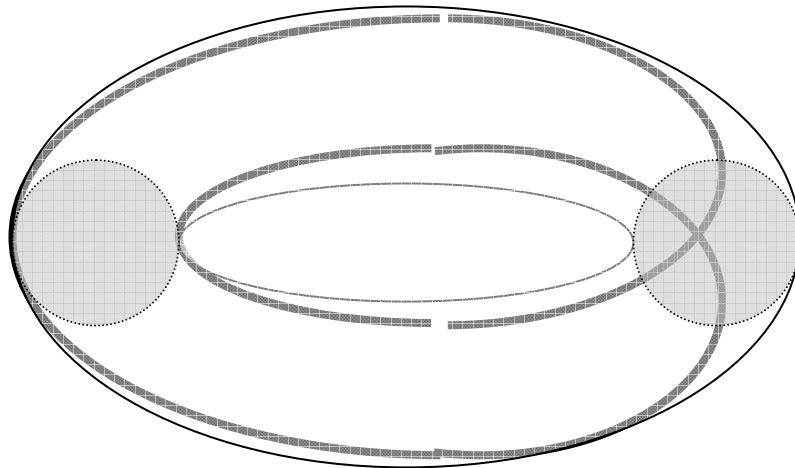
In una figura disegnata su un foglio è difficile farsene ragione, ma si può constatare che, per ogni senso di avvolgimento in circolo, ci sono due modi di avvitamento interno.

Con le figure seguenti cerchiamo di mostrarlo, ma se si usa il fil di ferro e lo si avvolge su una ciambella ci si rende facilmente conto che è così.



Pertanto come si giustificano questi quattro tipi?

Per il momento limitiamoci a dire che esiste una rotazione interna che va interpretata.



Ma forse si può dire di più.

Il fatto più banale che può venire in mente è che sia legata alla carica.

Possiamo pensare che un cambio della rotazione interna cambi la carica.

Usiamo senz'altro come sinonimi i termini "polarizzazione interna", "elica interna" o "rotazione interna".

Un attento esame delle cose ci mostra che una connessione fra la carica e la polarizzazione interna è ragionevole.

Anzi, un più attento esame ci mostra che questa connessione è obbligatoria da quanto abbiamo già detto. Essa è non solo possibile ma necessaria sulla base di quanto abbiamo già detto.

Semplicemente non lo avevamo notato.

Stiamo dicendo che la connessione carica = polarizzazione interna non è obbligatoria in assoluto, però è obbligatoria se si ammette il modello. Ossia se si ammette il modello non v'è necessità di nessuna ulteriore ipotesi sulla connessione fra carica e polarizzazione interna: questa connessione c'è già.

La connessione è stabilita dalla semionda dispari di corrente.

Ripercorriamo difatti con maggiore attenzione quanto abbiamo già detto.

Abbiamo associato all'elettrone una piccola corrente, poi abbiamo visto che per rappresentare la carica questa corrente non può avere in numero pari di semionde, è necessaria una semionda dispari.

Dunque la presenza di carica comporta una semionda dispari.

Però qualunque forma d'onda con una semionda dispari, per avvolgersi su sé stessa, non può avvolgersi su un normale nastro, ma deve avvolgersi su un nastro di Moebius cioè deve torcersi.

Dunque una semionda dispari comporta necessariamente la presenza di *giri* interni, una polarizzazione circolare interna.

Quindi riassumendo la sequenza di ragionamento, obbligata, è:

Carica = semionda dispari = nastro di Moebius = Polarizzazione circolare interna

Fra l'altro questo ci consente ora di riesaminare le quattro strutture che abbiamo visto essere compatibili con un nastro di Moebius.

Due hanno polarizzazione interna opposta alle altre due.

Alla luce della attuale interpretazione, due vanno considerate a carica negativa e due a carica positiva. Ragionevolmente questo ci propone l'elettrone, negativo, nei due differenti stati di spin ovvero di rotazione *esterna*, e il suo fratello gemello, l'antiparticella positrone, positivo

## 5- LE INTERAZIONI DEBOLI

### 5.1-Interazioni deboli e meccanica quantistica

Questo breve paragrafo potrebbe essere utile per sbirciare alcuni scritti matematici che ho pubblicato altrove.

Altrimenti è una breve digressione sulle interazioni deboli.

Le interazioni deboli sono quelle nelle quali interviene la “forza debole”, una delle cosiddette quattro forze fondamentali della natura, quella elettromagnetica, la debole, la forte e quella gravitazionale.

Poiché ci sono in proposito libri e articoli divulgativi in quantità, non mi metterò qui a riassumerne le caratteristiche e le proprietà. Rimando a queste varie opere divulgative. Mi limiterò via via a catturare quelle proprietà delle interazioni deboli che sono pertinenti a quest’opera.

Inoltre approfitterò del fatto che, strada facendo, le interazioni deboli sono diventate elettrodeboli, ossi le interazioni deboli e quelle elettromagnetiche sono state unificate.

Questo ci dà un vantaggio, perché le interazioni elettromagnetiche ci sono più familiari, non foss’altro perché ognuno di noi almeno una volta ha preso la scossa, conosce il telefono cellulare e sa grosso modo cosa è un impulso radar.

Cosa significa che le interazioni deboli sono unificate con quelle elettromagnetiche?

Brutalmente detto, è come dire che...sono elettromagnetiche. Solo che sono deboli.

O meglio sono deboli alle basse energie, mentre diventano intense come quelle elettromagnetiche alle alte energie (o alle alte frequenze, o alle piccole distanze).

L’elettrone “sente” sia le interazioni elettromagnetiche che le interazioni deboli.

Fatta questa premessa, è necessario dire due parole di meccanica quantistica.

L’elettrone in meccanica quantistica è descritto dalla equazione di Dirac.

La equazione di Dirac descrive l’elettrone e le sue interazioni elettromagnetiche, non descrive le sue interazioni deboli.

Cosa diavolo è la equazione di Dirac, e perché non descrive le interazioni deboli dell’elettrone? (dato che, tutto sommato, sono.....elettrodeboli).

David Hestenes ha tentato di leggere dentro la equazione di Dirac anche le interazioni deboli [30].

Hestenes ha svolto un’opera meritoria sulla equazione di Dirac, tanto è vero che ora si parla di “equazione di Dirac nella forma di Hestenes”.

L’ha riscritta in un’altra forma, con un’altra matematica.

Riassumo il risultato così:

*“adesso la equazione di Dirac la possono capire anche gli ingegneri elettronici”*

Il risultato deve ritenersi di importanza formidabile; bisogna considerare che prima, nel formalismo matematico originario di Dirac, per gli ingegneri elettronici mediamente non solo era impossibile interpretare la equazione di Dirac, ma era anche impossibile provare a ragionarci sopra.

Peccato che la matematica adoperata (algebra di Clifford, eccetera eccetera), per certi versi elementare, è per altri versi ostica e comunque poco di moda. In pratica la ignorano tutti salvo Hestenes e un gruppo di lavoro a Cambridge. Ad ogni modo questa nuova matematica può servire per farci un lavoro sulla equazione di Dirac di cui parlerò fra un po'.

## 5.2- Un pacchetto d'onde elettromagnetico

Siamo partiti con l'intento di esaminare una ipotesi di lavoro, cioè che l'elettrone fosse in qualche modo un grumo elettromagnetico, un'onda elettromagnetica, un pacchetto di campo elettromagnetico.

*Una sorta*, in verità, di pacchetto di campo elettromagnetico, tutto da capire.

Invece un *vero* pacchetto di campo elettromagnetico è una cosa ben conosciuta.

Nella tecnica radar si inviano pacchetti di campo elettromagnetico verso il bersaglio da individuare. Essi viaggiano alla velocità della luce. Possono essere fabbricati in polarizzazione lineare o circolare.

Pacchetti simili possono esser fatti viaggiare entro una guida d'onda. Qui, secondo la frequenza, viaggiano comunque a velocità minore di quella della luce, e volendo possono anche andare molto lenti. Viaggiano lenti se la frequenza è di poco più alta della frequenza di taglio della guida o, il che è un sinonimo, se la guida è stretta.

Quando un pacchetto viaggia dentro una guida sta dentro la guida. E' quindi grosso quanto la guida, un po' più piccolo per entrarci e poter correre. Un tipico pacchetto ha una dimensione dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda, poiché tale è la guida, che è costruita in base ai pacchetti che deve condurre. Un tipico pacchetto è invece lungo svariate lunghezze d'onda, secondo le esigenze di progetto. Diciamo cento lunghezze d'onda.

Quanto è la lunghezza d'onda? Nella tecnica ne vengono impiegate tante, in particolare nei radar lunghezze d'onda usuali possono essere dell'ordine del decimetro, del centimetro, del millimetro, secondo le applicazioni. In altre applicazioni la lunghezza d'onda può essere metri, centinaia di metri, chilometri..... In una grossa guida d'onda potremmo ipoteticamente entrare, o farci entrare degli strumenti, e misurare punto per punto il campo elettromagnetico. In certe particolari occasioni e per certi particolari motivi lo si fa. Il campo obbedisce alle equazioni di Maxwell. Questo lo si sa, e le misure lo verificano. Se, pertanto, transita un pacchetto d'onde ne possiamo misurare, o pensare di misurarne, le caratteristiche punto per punto, e trovare che il campo obbedisce alle equazioni di Maxwell. Quindi in sostanza di un pacchetto elettromagnetico si sa tutto.

Tuttavia già per onde millimetriche la guida d'onda è minuscola. Peggio ancora se considerassimo una fibra ottica, "guida d'onda" per il campo elettromagnetico-luce. Questa è un capello.

Ora si presenta una circostanza che non ha a che fare con la meccanica quantistica o con il principio di indeterminazione o con la filosofia, ma ha a che fare con la tecnologia. Se il pacchetto è molto piccino, non riusciamo a guardarci dentro per il semplice fatto che è troppo piccino per farci entrare gli strumenti.

Quindi possiamo solo studiarlo da fuori.

Possiamo allora fare il ragionamento seguente. Ammettiamo, come intenderemmo dimostrare, che l'elettrone sia una sorta di pacchetto elettromagnetico. Però è molto piccolo. Invece un pacchetto elettromagnetico è normalmente grande. Ma certe volte può diventare molto piccolo.



## **Come descriveremmo un pacchetto elettromagnetico se fosse così piccolo da non poterci mai guardare dentro?**

Ossia: può esistere una equazione che, ignorando volutamente le caratteristiche del campo cioè le equazioni di Maxwell, descriva un pacchetto elettromagnetico trattandolo come una particella della meccanica quantistica? Dandone cioè solo le caratteristiche globali, viste da fuori?

(lunghezza d'onda, velocità, energia, massa, polarizzazione eccetera)

Convieni considerare un campo nello spazio libero, ma anche in guida d'onda, per poter avere un pacchetto elettromagnetico a tutte le velocità possibili, finanche fermo, come una particella

L'algebra sviluppata da Hestenes si presta bene a questa indagine. Il risultato è questo:

*questa equazione esiste ed è l'equazione di Dirac.*

Dobbiamo dire due parole su questo risultato, per valutarne il significato.

La equazione di Dirac è l'equazione dell'elettrone (nonché del neutrino). Essa descrive molto bene tutti, o quasi, i comportamenti dell'elettrone anche se non ci dice niente su come è fatto dentro. Ammesso che ci sia un dentro.

David Hestenes ha cercato di scavare nella equazione di Dirac per cercare di capire se c'è qualche informazione sulla struttura dell'elettrone, ma non è questo che ora ci interessa. Quello che ci interessa è che la equazione di Dirac descrive l'elettrone da fuori, e ci informa su lunghezza d'onda, energia, velocità, polarizzazione eccetera.

Se ora noi troviamo che **anche un pacchetto d'onde elettromagnetico è descrivibile nello stesso modo, i casi sono due: o l'elettrone è un pacchetto d'onde elettromagnetico, oppure per così dire gli rassomiglia molto.**

Debbo per onestà riferire che questo risultato per me molto interessante non ha causato nessun interesse nei fisici e negli ingegneri con cui ne ho parlato. Al più, e solo dopo una lunga discussione matematica sull'algebra di Clifford, ho avuto da un fisico teorico il seguente commento: “Va bene, è così. Ma è solo perché è un *isomorfismo*”; vale a dire, i due problemi sono lo stesso tipo di problema.

Possiamo benissimo accettare che i due problemi siano isomorfi, ma proprio questo rende interessante la cosa. Difatti la costituzione interna dell'elettrone ci è invisibile, mentre l'altro problema l'abbiamo sotto gli occhi.

E' come se avessimo scoperto che le stesse equazioni che descrivono in tutto e per tutto il comportamento di un minuscolo virus, appena o per nulla visibile al microscopio elettronico, descrivono anche dettagliatamente un canguro.

Un canguro l'abbiamo sotto gli occhi e possiamo ragionarci.

Ed è ciò che ora ci interessa.

Quello che ora ci interessa è cercare di capire qualcosa di più sulle interazioni deboli. Forse ora è possibile: i più remoti significati della equazione di Dirac sono in questo caso controllabili in quanto sono riferiti ad un problema visibile. Sono chiari i significati dei vari parametri. Abbiamo delle analogie che sono “visibili”.

Quali sono le analogie di comportamento che ci fornisce la equazione di Dirac?

Le analogie sono, in verità, tra le più semplici che ci potessero venire in mente. Se avessimo voluto immaginarle con la fantasia, sulla base di tutto quanto abbiamo detto fino ad ora avremmo potuto pensare..... a cosa? A questo.

Primo: l'elettrone è analogo a un campo elettromagnetico dentro una guida d'onda.

Secondo: il neutrino (cugino dell'elettrone, senza massa e senza carica, e che viaggia sempre alla velocità della luce) è analogo..... a un campo elettromagnetico che viaggia nel vuoto (quindi alla velocità della luce).

Queste sono le analogie che la fantasia ci poteva suggerire.

Quali sono le analogie che invece ci fornisce la matematica ovvero la equazione di Dirac?

**Sono proprio quelle!**

Primo: un campo elettromagnetico avvolto a elica dentro una guida d'onda è analogo all'elettrone.

Secondo: un campo elettromagnetico che viaggia nel vuoto alla velocità della luce è analogo al neutrino (il cugino dell'elettrone, senza massa e senza carica, e che viaggia sempre alla velocità della luce).

Proseguendo nello studio e adoperando l'analogia, si riesce a fare di più: si riesce a interpretare la azione del fotone, o della "forza elettromagnetica", che devia o cambia la velocità dell'elettrone.

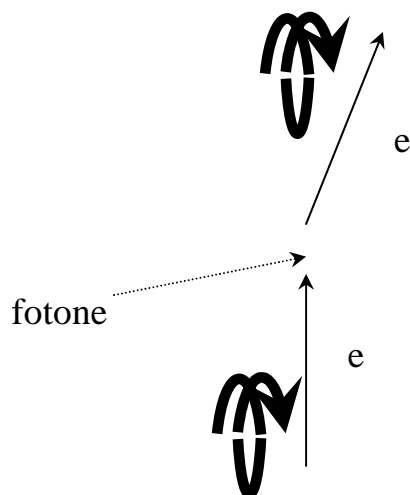
Racconto questa interpretazione.

Mi aiuto con un disegno:

elettrone  
campo elettromagnetico avvolto a elica  
dentro una guida d'onda



Riassumiamo la azione del fotone. Esso fa varie cose ma in particolare accelera o rallenta o devia elettroni



Nella teoria elettrodebole l'azione della particella "fotone" è rappresentata da un operatore matematico.

Noi pigliamo questo operatore matematico e lo adoperiamo nel caso "visibile" che ci è fornito dalla analogia.

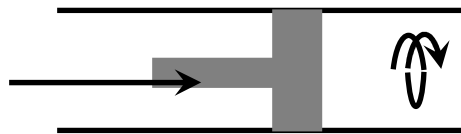
Pigliamo questo operatore matematico e lo applichiamo all'elettrone, campo elettromagnetico avvolto a elica dentro una guida d'onda.

La azione del fotone diventa così la azione di un oggetto visibile.

E cosa è questo oggetto e cosa fa sul campo elettromagnetico in guida d'onda?

### **Gli da una spinta.**

Nella analogia radar-elettromagnetica la azione della forza elettromagnetica è quella di una "spinta" che accelera o rallenta il campo in guida.



Ciò è molto interessante e suggestivo.

Siccome "l'appetito vien mangiando", come compare invece, e se compare come si interpreta una interazione debole?

Hestenes, come abbiamo visto, ha tentato di leggere la interazione debole dentro la equazione di Dirac.

In particolare egli individua i parametri che secondo lui sono caratteristici della interazione debole.

Nel nostro caso essi sono interpretabili.

E con questa affermazione mi dovrei fermare. Il resto è matematica.

Ho pubblicato in proposito due scritti matematici piuttosto complicati.

Ma forse qualcosa posso esporre.

Ci provo.

### 5.3- Un pacchetto d'onde elettromagnetico e le interazioni elettrodeboli

Ho detto che la equazione di Dirac descrive l'elettrone.

Se ora noi troviamo che anche un pacchetto d'onde elettromagnetico è descrivibile nello stesso modo, i casi sono due: o l'elettrone è un pacchetto d'onde elettromagnetico, oppure per così dire gli rassomiglia molto.

Inoltre i più remoti significati della equazione di Dirac diventano controllabili in quanto sono riferiti ad un problema visibile. Sono chiari i significati dei vari parametri. Abbiamo analogie studiabili.

Siccome ora vogliamo interpretare l'azione delle forze deboli, cominciamo dunque col ripassare l'azione delle forze deboli (della forza elettromagnetica ho già parlato). Le forze deboli sono esercitate dalle particelle  $W$  e  $Z^0$  portatrici della "forza debole", Cosa fanno e come agiscono?

Fanno in realtà varie cose ma, per semplificare, mi fisso su qualche esempio.

Mi aiuto con i soliti disegni a cui aggiungo il neutrino.

Il neutrino non ha carica elettrica, non ha massa, viaggia sempre alla velocità della luce, e con lo studio della equazione di Dirac lo abbiamo identificato con un campo elettromagnetico nel vuoto a velocità  $c$ .

neutrino:

campo elettromagnetico nel vuoto  
a velocità  $c$



elettrone

campo elettromagnetico avvolto a elica  
dentro una guida d'onda

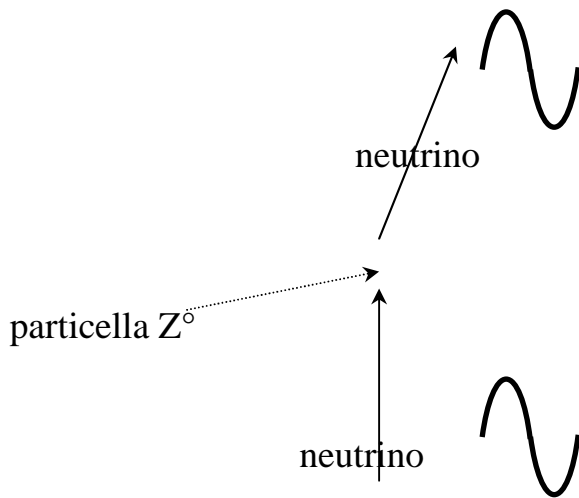


Cosa fanno le particelle  $W$  e  $Z^0$  portatrici della "forza debole"?

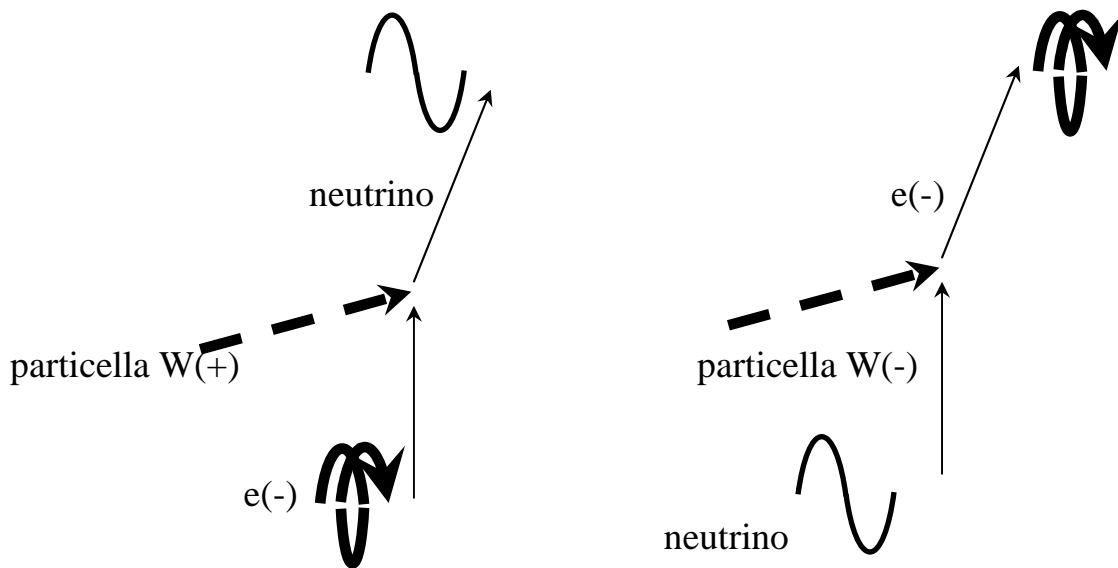
La  $Z^0$  fa varie cose ma, per esempio, è in grado di agire sui neutrini.

Nessun fotone è in grado di agire (deviare o rallentare) un neutrino, e ciò è coerente col fatto che il neutrino non ha carica elettrica, laddove invece la forza elettromagnetica (il fotone quindi) agisce solo sulle cariche elettriche.

Sui neutrini viceversa può agire la  $Z^0$ , la cui azione è rappresentabile da un "diagramma di Feynmann":



Più complessa è la azione della particella W. Essa è in grado di trasformare neutrini in elettroni o viceversa (ed è pertanto una particella dotata di carica).



Si tratta ora di tradurre il formalismo matematico della azione delle particelle  $Z^0$  e W in meccanica quantistica in operatori matematici rappresentanti la azione elettromagnetica dei vari oggetti.

A costo di ripetermi, riassumo la situazione.

L'elettrone in meccanica quantistica è descritto dalla equazione di Dirac. La equazione di Dirac descrive l'elettrone e le sue interazioni elettromagnetiche, non descrive le sue interazioni deboli.

Hestenes ha tentato di leggere la interazione debole dentro la equazione di Dirac. In particolare egli individua i parametri che secondo lui sono caratteristici della interazione debole.

Come dice Hestenes [30] nella teoria di Weinberg Salam delle interazioni elettrodeboli appare una cosa che si chiama "simmetria  $SU(2)\otimes U(1)$ ", una simmetria interna in uno spazio astratto.

Invece, dice sempre Hestenes (traduco liberamente il suo pensiero) deve essere possibile darne una interpretazione geometrica nello spazio fisico (quello vero).

Io mi sono proposto questo e qualcosa di più, o se vogliamo più modestamente qualcosa di meno: deve essere possibile darne una interpretazione geometrica e anche visualizzarne l'effetto, stante le già citate analogie, sui campi elettromagnetici.

Visualizzare cioè l'effetto delle forze elettrodeboli non solo sulle particelle elementari, elettrone e neutrino, ma anche sui normali campi elettromagnetici, nel vuoto e in guida d'onda.

Per quale motivo possiamo essere fiduciosi di riuscire nell'impresa?

La questione può essere posta in questi termini che io semplifico brutalmente chiedendo scusa agli esperti: la "simmetria  $SU(2)\otimes U(1)$ ", simmetria interna in uno spazio astratto, contiene degli operatori matematici di cui uno rappresenta l'azione della particella W, un altro della particella  $Z^0$  e un altro della particella "fotone", portatore della "forza elettromagnetica".

Di questi operatori uno è stato interpretato ed è quello che rappresenta l'azione della particella "fotone", portatore della "forza elettromagnetica".

Pertanto è sperabile di poter interpretare anche gli altri due.

Ebbene quali sono i risultati che ci fornisce la matematica ovvero la equazione di Dirac? Questi risultati sono descritti negli articoli matematici che ho allegato al libro. Li posso riassumere in modo sintetico e semplificato.

Primo: un campo elettromagnetico che viaggia nel vuoto alla velocità della luce sbatte su un bersaglio, viene riflesso, e questa è l'azione di  $Z^0$ .

Secondo: un campo elettromagnetico che viaggia nel vuoto alla velocità della luce viene catturato da una "horn antenna", si avvolge a elica e diventa un campo in guida d'onda", e questa è la azione di W.

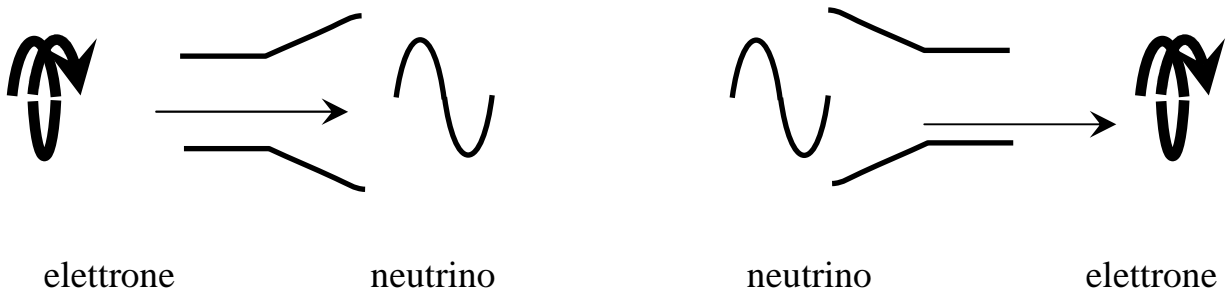
(e infine terzo, come già visto...)

Terzo: un campo elettromagnetico che viaggia in guida viene spinto, o rallentato, e questa è la azione del fotone "gamma".

Se avessimo voluto immaginare con la fantasia azione delle particelle  $Z^0$  e W in meccanica quantistica, sulla base di tutto quanto abbiamo detto fino ad ora avremmo potuto pensare a queste analogie. Avremmo immaginato quanto segue.

Primo, chi è  $Z^0$ ? La azione di  $Z^0$ , vista in termini di bersaglio radar, può essere rappresentata dalla riflessione su un bersaglio. Il campo viene infatti deviato o rallentato (o accelerato) a pari polarizzazione. L'oggetto che può fare questo è quindi semplicemente un bersaglio radar in eventuale moto di avvicinamento o allontanamento.

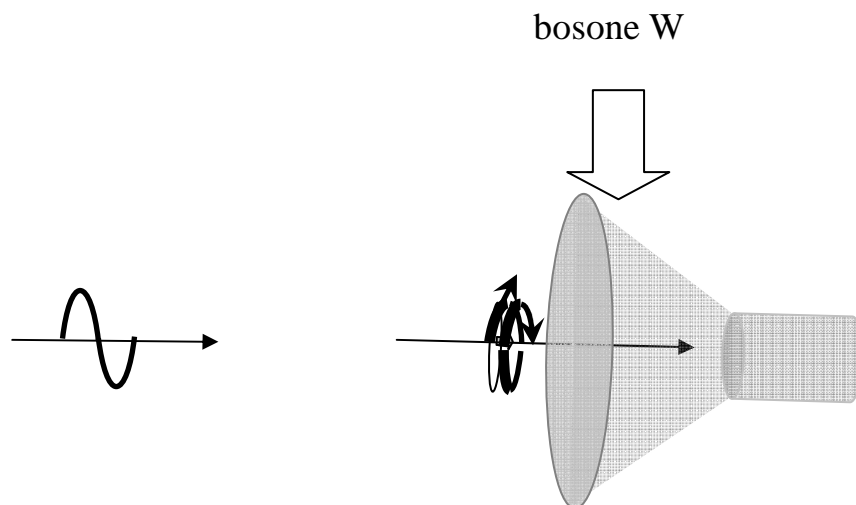
Secondo, chi è W? Nella analogia radar un oggetto che trasforma campi nel vuoto in campi in guida o viceversa, esiste, ed è..... la porta di uscita o di ingresso di una guida d'onda. Essa opera la transizione spazio – guida e quindi obbliga le sopradette trasformazioni.



E dunque possiamo essere molto soddisfatti di quel che ci dice la matematica. La matematica ci dà una interpretazione “visiva “ delle forze elettrodeboli, e in particolare delle interazioni deboli, la quale azione, se studiata sui campi elettromagnetici nel vuoto e in guida d’onda, corrisponde alla azione di oggetti visibili.

La ripeto per la parte più suggestiva, che è la azione di W.

Accade che "un campo elettromagnetico nel vuoto si avvolge a elica e diventa un campo in guida d’onda”, e questo per la azione di un oggetto che è....un’antenna a tromba, in inglese una “horn antenna”.



In questa azione il campo viene quindi “dotato di massa.

Il concetto è importante quindi vale la pena di insistere.

Ripassiamo quanto già dicemmo. Un campo elettromagnetico in guida, quando si propaga, viaggia a elica entro la guida. Le condizioni estreme sono quella a frequenza infinitamente grande, in cui l’elica è molto allungata e il campo viaggia alla velocità della luce, e quella alla cosiddetta “frequenza di taglio” della guida, allorquando con una elica sempre più accorciata il campo finisce col ruotare su sé stesso, e sta lì.

Sia la frequenza che la energia del campo obbediscono alle formule relativistiche che legano massa energia e impulso di una particella materiale. La massa risulta precisamente essere.....la energia del campo a riposo, la energia cioè del campo intrappolato che ruota su sé stesso. Luce intrappolata.

Dunque il campo elettromagnetico nella guida d’onda si comporta come ci si attenderebbe da una particella relativistica. Un campo elettromagnetico intrappolato si sta comportando come una particella.

In particolare ha massa.

In tutto questo non compare la particella di Higgs.

Perché cito la particella di Higgs?

La particella di Higgs compare nella teoria di Weinberg Salam delle interazioni elettrodeboli.

Cosa è la particella di Higgs e perché compare nella teoria di Weinberg Salam delle interazioni elettrodeboli?

La teoria di Weinberg Salam delle interazioni elettrodeboli descrive e “giustifica” i leptoni, in particolare elettrone e neutrino, e le loro interazioni.

La teoria, per ragioni matematiche che ora non ci è necessario indagare, nasce e si sviluppa con particelle prive di massa.

Al termine di tutto lo sviluppo matematico della teoria è necessario, per concluderla, inventare un meccanismo capace di dotare di massa le particelle prive di massa, in particolare l’elettrone.

Per questo è stata inventata ad hoc la particella di Higgs, che ha questo compito esclusivo, ed è tuttavia oggetto di caccia, non ancora conclusa.

Potremmo invece pensare che si crei energia a riposo, ovvero massa, perché la luce si mette a circolare in tondo, come fa un campo elettromagnetico nel vuoto che si avvolge a elica e diventa un campo in guida d’onda?

Abbiamo appena interpretato la azione della interazione debole per la parte più suggestiva, che è la azione di W.

Un campo elettromagnetico nel vuoto che si avvolge a elica e diventa un campo in guida d’onda

In tutto questo la particella di Higgs non compare.

Alcuni scienziati stanno seriamente riflettendo su questo.



#### 5.4-Le interazioni elettrodeboli e la particella di Higgs

Abbiamo quindi mostrato che un oggetto analogo al bosone W fornisce a un campo elettromagnetico un helical motion che lo trasforma in un campo avvolto a elica, in guida d'onda.

Io mi sono accuratamente limitato a parlare di campi elettromagnetici, nel vuoto e in guida d'onda. Ho notato che "un campo elettromagnetico nel vuoto si avvolge a elica e diventa un campo in guida d'onda".

Ho anche notato che in tutto questo "non compare la particella di Higgs".

Non ho parlato esplicitamente di elettroni e neutrini ma appaiono inevitabilmente delle analogie, tutte discutibili, con elettroni e neutrini.

Tuttavia Hestenes in uno dei suoi numerosi scritti (D. Hestenes, "Spacetime calculus"), dice di più.

Parlando del helical motion (nota: helical motion e zitterbewegung nella interpretazione di Hestenes dell'elettrone sono sinonimi) Hestenes fa un'ipotesi esplicita che, tenuto conto delle analogie, appare interessante.

L'ipotesi è questa:

"This opens up possibilities for integrating the zitterbewegung idea with electroweak theory. Evidently that would obviate the need for including Higgs bosons in the theory, since the zitterbewegung provides an alternative mechanism to account for the electron mass."

Dice in sostanza Hestenes che il meccanismo di moto circolare e/o a elica potrebbe essere lui il meccanismo capace di dotare di massa l'elettrone, senza che sia necessario fare intervenire l'ipotetica particella di Higgs, che qualcuno ha chiamato con fantasia la particella di Dio.

In sostanza si crea energia a riposo, ovvero massa, perché la luce si mette a circolare come in un vortice.

A fronte di una possibile eliminazione della particella di Higgs dalla teoria elettrodebole ritengo allora utile ripassare le mie precedenti idee.

Abbiamo visto che nella teoria di Weinberg Salam delle interazioni elettrodeboli per ragioni matematiche è stata inventata ad hoc la particella di Higgs, necessaria fra le altre cose per dare massa all'elettrone.

Tuttavia la particella di Higgs a oggi è ancora oggetto di caccia, e nessuno l'ha vista. Inoltre più di uno scienziato comincia a pensare che si crei energia a riposo, ovvero massa, con qualche altro meccanismo.

Potremmo dunque pensare che si crei massa perché la luce si mette a circolare come in un vortice?

Nella analogia elettromagnetica abbiamo visto che un campo elettromagnetico nel vuoto "impatta" contro l'antenna a tromba, si avvolge a elica e diventa un campo in guida d'onda. Può essere questo meccanismo che giustifica la massa dell'elettrone?

Faccio una digressione sui vortici.

Andiamo, per esempio, a Pisa.

Passando il ponte sull'Arno e guardando di sotto, si può osservare il flusso delle onde accanto ai piloni del ponte.

A volte compaiono vortici, che si formano quando l'energia dell'onda diventa alta. L'urto violento contro un ostacolo può produrre queste entità, che mantengono la loro, anche se breve, vita autonoma.



Ora va detto che il meccanismo matematico in base al quale si manifesta la azione di  $W$  sul campo elettromagnetico è un meccanismo che ricorda una azione di contatto, un urto. Il campo elettromagnetico “urta” e poi viene avvolto.

(Si noti ancora che in meccanica quantistica la particella  $W$  ha una grande massa, ha una vita breve ed agisce solo a cortissimo raggio. Questo non dimostra nulla, ma è compatibile con la azione di impatto contro un ostacolo).

Se questo è il meccanismo per dotare di massa un neutrino e farlo diventare un elettrone, possiamo immaginare che altrove in regioni dello spazio o del tempo la presenza di una grande quantità di particelle  $W$  abbia trasformato neutrini in materia. Possiamo fantasticare.

Attualmente ci sono in giro molti neutrini, ma non c'è in giro una apprezzabile quantità di  $W$ , stante anche la loro brevissima vita. Ma per altissime energie e velocità prossime a quelle della luce anche la vita delle  $W$  diventa sufficientemente lunga, lo dice la teoria della relatività

Vivono abbastanza a lungo per incontrare neutrini.

Esse dunque in un ambiente di alte energie possono aver costituito ostacoli in grande quantità, “luce pesante” contro la quale la luce, anche lei di grande energia, ha potuto urtare e avvolgersi....

In ogni modo questo meccanismo per fornire massa sarebbe alternativo alla particella di Higgs.

Con questo dubbio finisco la digressione sulle interazioni deboli.

Arrivati a questo punto, fantasia per fantasia, possiamo procedere per più ampie ipotesi sulla costituzione di tutte le particelle materiali.

Cosa che faremo nel prossimo capitolo.

## 6- I QUARK

### 6.1- Particelle composte

Fin qui abbiamo ragionato sull'elettrone.

Dobbiamo ora dire che l'elettrone è la più semplice particella stabile dotata di massa, la *unica* particella stabile dotata di massa che si ritiene essere una particella *semplice*.

Tutte le altre particelle si pensa che siano composte. In questo senso il nome "particelle elementari" per i mesoni pigreco, per il protone, il neutrone, eccetera eccetera eccetera, lo possiamo considerare un relitto del passato. L'elettrone ha il diritto di essere chiamato particella elementare. Le altre non sono elementari in quanto composte.

Composte di cosa?

Si dirà: di altre particelle elementari.

Ma abbiamo appena visto che nella caccia alle particelle elementari l'unica che si sia trovata essere tale è l'elettrone.

Dunque gli elettroni costituiscono tutto? L'unico mattone di base è l'elettrone?

Precisiamo.

Intanto completiamo il quadro delle particelle *elementari*, e *stabili*.

Esse sono l'elettrone, la sua antiparticella positrone, e il neutrino assieme alla sua antiparticella, l'antineutrino. Per dirla brevemente, l'elettrone e il neutrino, con le rispettive antiparticelle. La parola *stabili* significa che queste particelle hanno vita eterna. Nessuno ha mai visto sparire un elettrone, o disfarsi in altre particelle. Lo stesso dicasi per il neutrino.

Esiste un'altra particella con tali proprietà. Essa è il protone. Anche il protone è *stabile*. Però il protone non è *elementare*. Ci sono abbondanti indizi, per non dire prove certe, che fanno ritenere che il protone sia una particella composta.

Il neutrino e l'elettrone sono in un certo senso molto simili. Possiamo dire, semplificando, che l'elettrone ha massa e carica e invece il neutrino no, e questa è la loro unica differenza. In particolare il neutrino, non avendo massa, viaggia perennemente alla velocità della luce.

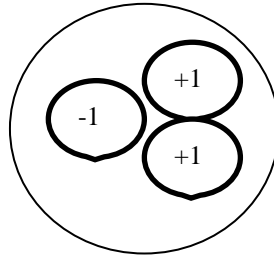
(n.b.: nella ipotesi che qui esaminiamo e sosteniamo, che tutto sia luce, campo elettromagnetico, che cosa sarebbe dunque un neutrino? Viaggiando alla velocità della luce non potrebbe che essere una particella di luce. Lo differenzerebbe dal fotone il fatto di avere spin  $\frac{1}{2}$  contrariamente al fotone a cui è attribuito spin 1. Non siamo molto discosti da una vecchia idea di de Broglie di considerare il fotone come composto di due mezzi fotoni di spin  $\frac{1}{2}$ ).

Con queste premesse torniamo al problema della conformazione delle particelle composte.

Hestenes [5] assieme al fisico Asim Barut fa l'ipotesi che tutte le particelle composte siano "...bound states of the three stable particles: electron, neutrino and proton".

Dunque i mattoni componenti sarebbero elettrone, neutrino e, ove occorra, il protone. Il protone poi, essendo a sua volta composto, sarebbe fatto di un elettrone e due positroni. Naturalmente né Hestenes né Barut né nessun altro possiedono una teoria

in grado di spiegare *come due positroni e un elettrone* potrebbero starsene assieme a formare un protone, darne il corretto valore di massa, restare confinati in eterno eccetera. Fatto sta che per quanto riguarda la carica elettrica i conti tornano: due cariche positive dei positroni assieme a una carica negativa dell'elettrone danno la carica +1 del protone.



Williamson e van der Mark nel già citato articolo [28] fanno una ipotesi diversa:

*“Poiché abbiamo supposto (dicono gli autori) che l'elettrone sia costituito da una particella di luce, un fotone, le altre particelle possono pure loro essere costituite da stati di fotoni, messi diversamente. Faremo l'ipotesi che le particelle siano fatte di composizioni interne di fotoni”*

Questa ipotesi è quindi una esplicita ipotesi di “luce intrappolata”.

Come si può collegare questa ipotesi di luce intrappolata con quello che sa la fisica? Per la fisica la ipotesi più accreditata è quella dei quark. I quark (vedi dopo) sono strani oggetti che isolati, da soli, non esistono. Quindi, dicono Williamson e van der Mark, potremmo pensare ai quark come, per così dire, dei **pezzi di luce** intrappolata che da soli non esistono.

*“If we identify a quark with a confined photon state which is not sufficient in itself to complete a closed loop in space (...), it would then only be possible to build closed three-dimensional loops from these elements with  $QQQ$  and  $Q\bar{Q}$  combinations”.*

In altre parole poiché l'elettrone è un fotone con *una lambda c* che si richiude su sé stessa in *due* giri (tale lo descrivono gli autori), esaminiamo l'ipotesi che i quark siano qualcosa di simile, ma non in grado di richiudersi su sé stessi. Così facendo i quark potrebbero esistere come elementi compositivi interni, sarebbero ancora luce intrappolata, ma non potrebbero esistere da soli all'esterno.

La fisica non prevede tutte le combinazioni possibili di quark. Sono possibili solo le combinazioni  $QQQ$  di tre quark e le combinazioni  $Q\bar{Q}$  di un quark e un antiquark. (Perché la fisica dice questo? Potremmo dire: “perché così le cose tornano”).

Bene, può darsi, dicono sempre Williamson e van der Mark, che questi pezzi di luce interna possano formare loop chiusi solo nelle combinazioni  $QQQ$  di tre quark e  $Q\bar{Q}$  di un quark e un antiquark.

Vogliamo ora provare a tradurre queste ipotesi in una immagine visiva, che salvaguardi quanto abbiamo ipotizzato fin qui per l'elettrone

## 6.2- I quark e SU(3)

“In ogni storia della filosofia per studenti, la prima affermazione è che la filosofia cominciò con Talete, il quale diceva che tutto è fatto d’acqua. Questo scoraggia subito il principiante...”.

Così dice Russel, in “Storia della filosofia occidentale”.

Potremmo applicare la frase con qualche variante alla fisica e ai quark.

In ogni spiegazione della fisica per principianti la prima affermazione è che oggi sappiamo che la materia è fatta di quark, e che i quark non esistono liberi.

Anche questa frase è abbastanza scoraggiante o almeno poco emozionante.

Perché?

Forse dipende dal fatto che poi non si sa dire al lettore molto di più. Non siamo in grado di dirgli altre cose che lo appassionino. Non sappiamo descrivere le particelle in un modo appassionante.

Non c’è una immagine fisica, visiva, delle varie particelle.

Si spiega al lettore che le particelle stabili veramente elementari sono elettrone e neutrino. Le altre particelle sono composte, e sono composte, appunto, di quark. Ma come sono fatte? E perché i quark non esistono liberi?

Per fare un paragone il lettore invece sa che gli atomi sono dei piccoli sistemi solari. Gli elettroni che girano intorno a un nucleo. Il nucleo è fatto di protoni e neutroni. Il tutto ha una precisa immagine.

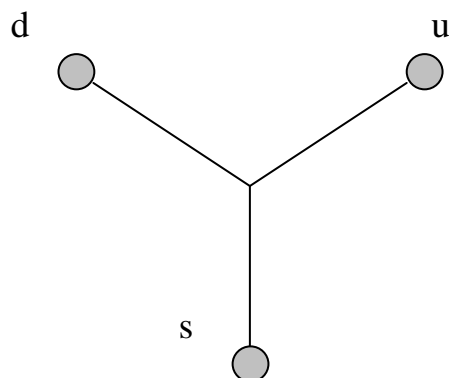
Il lettore poi sa, anche se non conoscesse altri dettagli, che i fisici, o i chimici, sanno fare con questo modello tutti i calcoli che servono. Ad esempio, un nucleo che abbia come costituenti due protoni e due neutroni pesa, almeno approssimativamente, quanto pesano due protoni e due neutroni messi assieme. E così via.

Nei quark non succede così. Tutto diventa assai più nebuloso. Il peso, per esempio, non è la somma dei pesi. Addirittura non si può dire quale sia il peso di ciascun quark.

Se si prosegue la lettura, si legge che i quark sono tre.

Si chiamano u d s, “up” “down” “strange”, e così li ha chiamati un fisico, Murray Gell-Mann.

Sono spesso disegnati messi a 120 gradi fra loro, in questo modo:

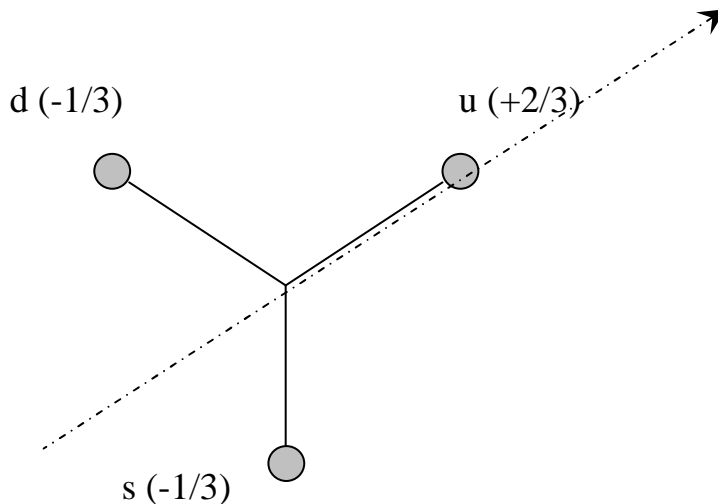


Perché?

Già qui comincia il bello.

Questo disegno fa venire in mente qualcosa al lettore, una sorta di simmetria, o qualche cosa d'altro che però non si saprebbe capire cosa sia.

In realtà questi 120 gradi almeno una loro ragione matematica ce l'hanno. I quark hanno carica elettrica (+2/3) e (-1/3). Sono opposte e una doppia dell'altra. Orbene i quark, messi così a 120 gradi, hanno cariche elettriche, misurate rispetto al centro e su un asse obliquo, che risultano proprio una doppia dell'altra, e opposte esattamente come devono essere, u (+2/3) eccetera.



Ma questi 120 gradi sono qualcosa di reale? I quark sono degli oggetti *messi a 120 gradi* dentro le particelle?

Proseguiamo.

Assieme ai quark ci sono gli antiquark, che hanno cariche opposte. Come l'elettrone (-1) che ha la sua antiparticella positrone (+1), così ogni quark ha il suo antiquark a carica elettrica opposta..

Ma grosso modo le spiegazioni finiscono qui.

Per esempio non si sa esattamente attribuire un peso ai quark tale per cui una particella fatta con udd pesi quanto u, più u, più d messi assieme.

Poi se non bastasse nessuno ha mai visto un quark libero.

La cosa è strana. Se esiste l'elettrone, uno si aspetta di poter vedere ogni tanto un elettrone. Ciò di fatto avviene. Quando succede, diciamo: "Ecco lì un elettrone".

Niente del genere succede per i quark. Nessuno ha mai *isolato* un quark, come si dice.

Esistono invece particelle composte, fatte di quark. Questo lo si sa. Si riuniscono in gruppi, *multipletti*, gruppi di otto particelle (ottetti), di dieci, e così via. Esiste una ben precisa classificazione.

Per comodità le particelle composte, alcune, sono riportate nelle Note.

Per esempio uud è un protone.

Invece udd è un neutrone.

Invece  $d$  con “anti- $u$ ” è un mesone pigreco.

E così via.

Ma in sostanza come è fatto  $uud$ ? Come è fatto  $udd$ ? E cosa sono i quark, sono palline? E cosa sono questi 120 gradi? E le particelle composte come sono fatte dentro?

Vogliamo ora vedere se la ipotesi sulla carica come polarizzazione interna, che ha funzionato per l'elettrone, è coerente con il modello a quark.

I quark sono stati immaginati attribuendo alle particelle una simmetria interna, astratta, denominata  $SU(3)$ . Il formalismo di  $SU(3)$  ha consentito di predire la presenza delle particelle composte e queste predizioni si sono rivelate esatte.

Detto ciò, cosa è questa  $SU(3)$ ?

In matematica esistono i “numeri complessi” e i “vettori”.

$SU(3)$  è “il gruppo di tutte le trasformazioni unitarie di un vettore complesso in tre dimensioni”.

Esiste qualcosa di simile parlando di  $SU(2)$  per la cui interpretazione ci si può riferire a un segnale radar. Chi è  $SU(2)$ ? E' già comparsa parlando delle interazioni elettrodeboli, assieme a una sua cuginetta  $U(1)$ . Qui compare ancora, anche se in una veste diversa.

Siamo nel campo della matematica:  $SU(2)$  è un “gruppo di trasformazioni”.

In matematica si definiscono i “numeri complessi” e i “vettori”, e  $SU(2)$  è “il gruppo di tutte le trasformazioni unitarie di un vettore complesso in due dimensioni”.

La frase di per sé non è molto illuminante, ma nella teoria dei segnali radar un vettore complesso in due dimensioni è un ente di uso comune, descrive tutte le trasformazioni di polarizzazione del segnale ricevuto [31].

Cosa dicono tutte le possibili trasformazioni di  $SU(2)$  nel radar?

Dicono che il segnale riflesso può subire tutte le possibili trasformazioni di ellisse di polarizzazione.

E  $SU(2)$  le rappresenta.

“Unitarie” vuol dire che modificano la forma dell'ellisse di polarizzazione ma non quanto è grosso. In altre parole con  $SU(2)$  si ottengono tutti i possibili ellissi di polarizzazione, ma a pari energia.

Volendo, tutti gli ellissi di polarizzazione si possono ottenere combinando delle polarizzazioni di base. Le polarizzazioni di base qui sono due, ne bastano due: la circolare destra e la circolare sinistra.

Nella teoria dei segnali radar, con un vettore complesso in tre dimensioni si rappresenta una qualsiasi polarizzazione *nello spazio*. Allora era su un piano, ora è nello spazio. In altre parole con  $SU(3)$  si ottengono tutte le possibili forme di ellisse di polarizzazione nello spazio, tutte a parità di energia.



Si può vedere che ora bastano tre polarizzazioni di base per rappresentare una polarizzazione generica. Potremmo scegliere queste polarizzazioni di base in modo opportuno e chiamarle i quark.

In altre parole possiamo o potremmo pensare ai quark come ai segnali componenti una polarizzazione.

Una analogia di questo genere di solito non viene presentata nella teoria del radar, ai radaristi non interessa e non è il caso di svilupparla qui ulteriormente, anche perché proseguendo su questa strada potremmo solo fantasticare, non potremmo certo giungere a capire “come sono fatti i quark”.

Però questa  $SU(3)$  interviene nelle particelle, e qualche ragione deve pur esserci.

Come abbiamo rammentato, i quark sono stati immaginati attribuendo alle particelle la simmetria interna  $SU(3)$ . Il formalismo di  $SU(3)$  ha consentito di predire la presenza delle particelle composte e queste predizioni si sono rivelate esatte.

In più, indipendentemente dalla esistenza reale dei quark si può dire questo [34]:

*“..... anche se i quark non esistessero, il formalismo di  $SU(3)$  conserverebbe la sua validità e rimarrebbe uno strumento estremamente utile per la classificazione delle particelle”.*

Riferendoci al significato di  $SU(3)$  applicata al radar vediamo che con delle polarizzazioni “quark” possiamo comporre una polarizzazione. Noi abbiamo associato la carica a una polarizzazione.

Dunque teniamoci questo indizio:

*possiamo pensare ai quark come componenti di base della polarizzazione interna che fornisce la carica elettrica?*

### 6.3- La struttura dei quark

In una teoria fisica esatta non potremmo mai, almeno per ora, farci una immagine visiva dei quark, ma in un romanzo di fantascienza si.

Seguiamo un po' di indizi.

E' doveroso però fare una premessa: dobbiamo renderci conto che si aprono davanti a noi varie alternative.

Ognuna di queste potrebbe avere una sua validità e un suo fascino.

Difatti quali elementi abbiamo?

Un indizio è quello che i quark *compongano* la polarizzazione interna.

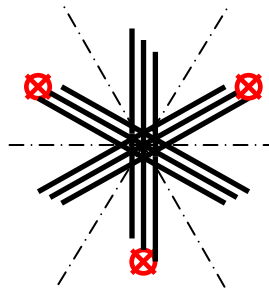
Ma compongono *come*? Nello schema di SU(3) una polarizzazione generica può essere formata con tre segnali di base, ma costoro possono essere scelti in più di un modo, e non sappiamo quale scelta sia più adatta a suggerirci una immagine visiva, una *forma* dei quark.

Un secondo vago suggerimento, che ci proviene insistentemente dalle proprietà dei quark, è che intervenga in qualche modo una simmetria a  $120^\circ$ .

Ma  $120^\circ$  di che tipo? Si tratta di  $120^\circ$  geometrici, nello spazio? Oppure sono "uno sfasamento elettrico"?

Un esempio suggestivo, per chi se ne intende di elettrotecnica, ci è dato dal campo rotante che si adopera nelle macchine elettriche.

Un campo rotante si può produrre con un sistema trifase di correnti (sfasate di  $120^\circ$  nel tempo) immesse in un sistema trifase di avvolgimenti (gli avvolgimenti sono ad assi spostati di  $120^\circ$  nello spazio). Il tutto produce.....una polarizzazione circolare. Il campo rotante delle macchine elettriche propone figure di questo tipo:



I quark sono imparentati con qualcosa del genere? Qualche calcolo sembra richiamare alla mente le cariche frazionarie dei quark. Ne parlo in Appendice.

Un terzo indizio ci proviene da una forma: l'elica.

La forma dell'elica l'abbiamo più volte incontrato nell'elettrone.

E' possibile che i quark siano eliche?

E, se lo fossero, due quark potrebbero comporsi in doppia elica per dare i mesoni? E tre quark in tripla elica per dare i barioni? Queste sono forme della biologia, la natura a volte ripete le sue forme.

Un quarto indizio è strano. Questi quark dovrebbero esserci, ma nello stesso tempo non essere mai in alcun modo estraibili da una particella.

Ciò per esempio potrebbe ben verificarsi se i quark fossero eliche le cui proprietà dipendessero *da una posizione interna reciproca*. Una volta estratti, i quark non avrebbero più nessuna posizione reciproca, ed apparirebbero per ciò che sono, eliche, eliche avvolte come gli elettroni o eliche viaggianti come i neutrini.

Tutti questi indizi sono confusi, è difficile metterli assieme componendo un quadro coerente.

E' possibile che lo sviluppo di una o più di queste idee porti a conclusioni valide, ma per il momento non siamo in grado di stabilire quale strada seguire.

Seguiamo perciò una via di comodo, componiamo questo "puzzle" in un modo che ci aiuti quantomeno con delle immagini.

Pretenderemo però tre cose.

Primo: che non venga smentito e anzi venga avvalorato il modello che ci siamo fatti della particella elettrone.

Secondo: che l'immagine, il modello che ci faremo per i quark rispetti ovvero spieghi e possibilmente *imponga* la composizione a quark delle particelle conosciute.

Infine terzo e ancor più importante: intendiamo mantenere come fondamentale la proprietà che abbiamo attribuito alla carica elettrica, cioè di corrispondere ad una polarizzazione circolare interna. Per questo pretenderemo che ai quark, ai quali vengono attribuite *porzioni*  $1/3$  e  $2/3$  dalla carica 1, siano associate *porzioni* di una polarizzazione circolare.

Associate *come*?

Riferiamoci all'elettrone e a come lo abbiamo immaginato. Un'elica interna "produce" la carica elettrica. Una rotazione completa di elica, pari a 360 gradi, dà origine ad una carica pari a 1.

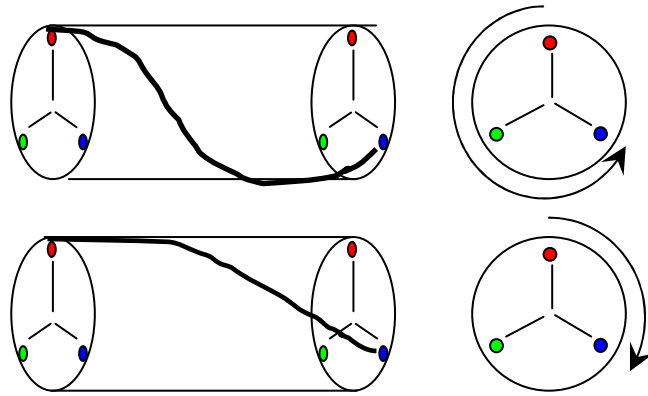
Consideriamo un pezzo di elica che abbia ruotato di soli 120 gradi,  $1/3$  di giro, ed attribuiamogli più o meno arbitrariamente carica  $1/3$ .

Consideriamo poi un secondo pezzo di elica che ruota di 240 gradi,  $2/3$  di giro.

Attribuiamogli carica  $2/3$ .

Al verso di rotazione, sinistro o destro, attribuiamo il segno della carica. Per fissare le idee abbiniamo ad una rotazione destra la carica (-) e a una rotazione sinistra la carica (+).

Disegniamo ad esempio un pezzo di elica che ruota di 240 gradi a sinistra, e uno che ruota di 120 gradi a destra:



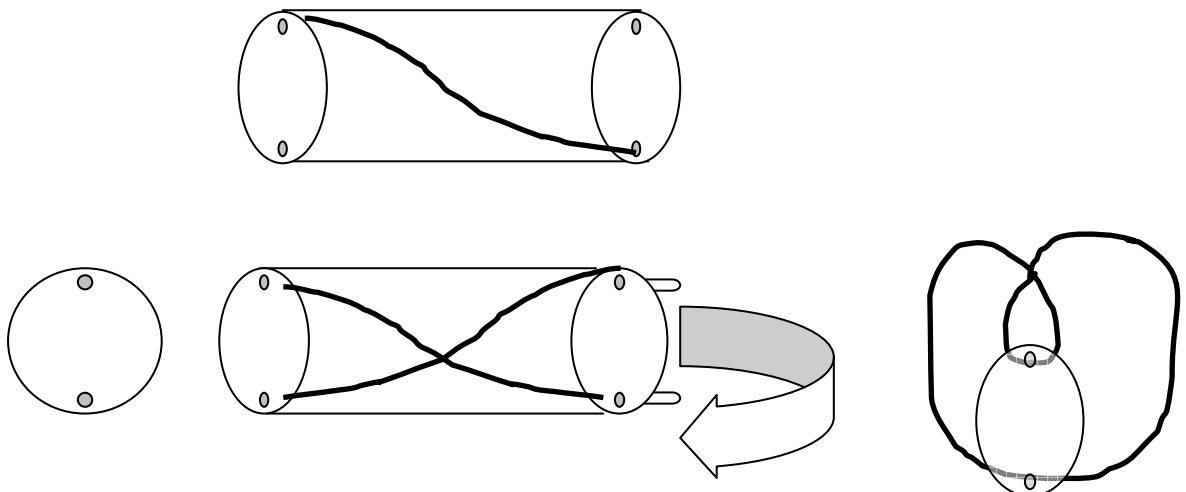
Questi pezzi di elica sono assurdi riguardo a una loro possibile esistenza esterna, non si “autosostengono”, cioè non corrispondono a circolazioni chiuse della luce, ma possono essere immaginati come elementi compositivi interni, dove essi hanno diritto di esistere.

Di più, corrispondono ad una simmetria interna ternaria, o a  $120^\circ$ , in luogo di una simmetria binaria, a  $180^\circ$ .

Per rappresentare una simmetria interna a  $180^\circ$  consideriamo una presa o spina elettrica. Una normale spina elettrica doppia.

Abbiamo visto che le condizioni di esistenza per una semionda di corrente che giustifichi la carica sono quelle di richiusura su un nastro di Moebius. Esso o meglio il filo, l’elica che ne è il bordo, è fatto di due pezzi, il primo pezzo è torto di  $180^\circ$  e il secondo di altri  $180^\circ$  gradi.

Fabbrichiamo due di questi pezzi e usiamoli per collegare gli spinotti di una presa elettrica doppia, che poi richiuderemo su sé stessa.



In questo modo abbiamo realizzato un collegamento con un filo chiuso.

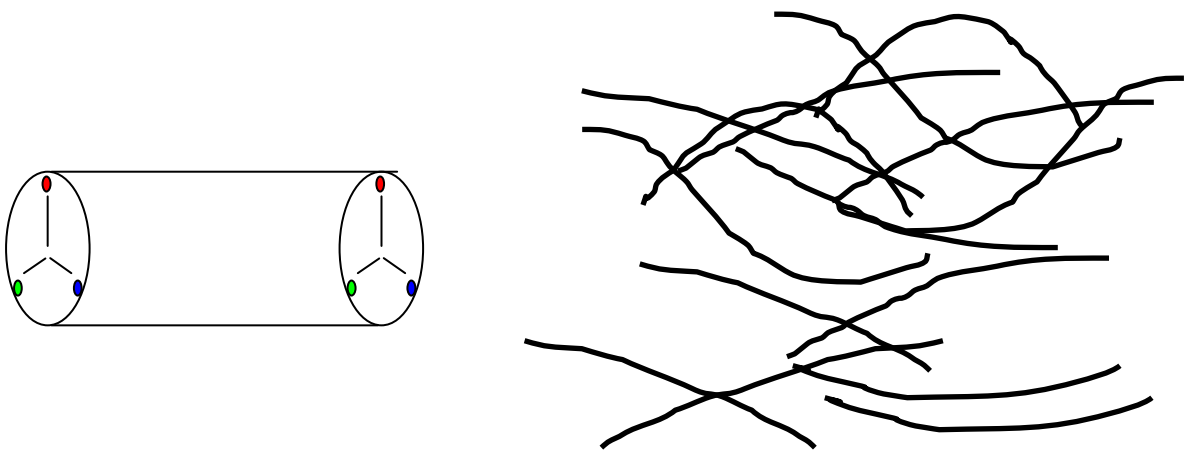
Consideriamo ora una simmetria interna a  $120^\circ$ .

Per questo usiamo una spina tripla.

Come è possibile ora comporre delle eliche?

Per lavorare con una simmetria ternaria, costruiamoci dapprima come elementi di base dei pezzi di elica. Dei pezzi di filo di ferro ritorti di  $120^\circ$  e  $240^\circ$  ( $+120^\circ$  e  $-120^\circ$ , e poi anche  $+240^\circ$  e  $-240^\circ$ ).

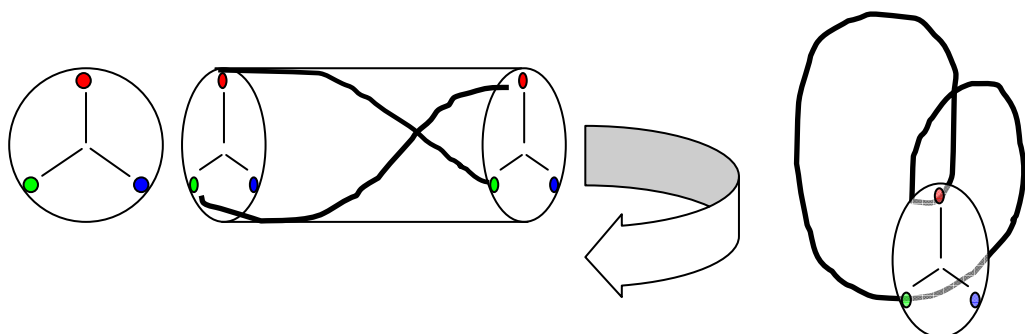
Per essere più precisi prendiamo come elementi di base tanti fili **u** a ( $-240^\circ$ ) messi in una scatola e tanti fili **d** a ( $+120^\circ$ ) messi sempre nella scatola. Poi immaginiamo di avere un terzo elemento di base **s**, sempre un filo a ( $+120^\circ$ ), esattamente come il precedente, e che però in qualche modo si distingue dal precedente: ad esempio, più sottile. Questo è in qualche modo un filo strano, scriviamoci sopra che è sempre un filo a ( $+120$ ) gradi, ma è strano. Comunque anche di questo prendiamone tanti pezzi uguali e mettiamoli nella scatola. Lo stesso facciamo per tutte le rotazioni di segno opposto.

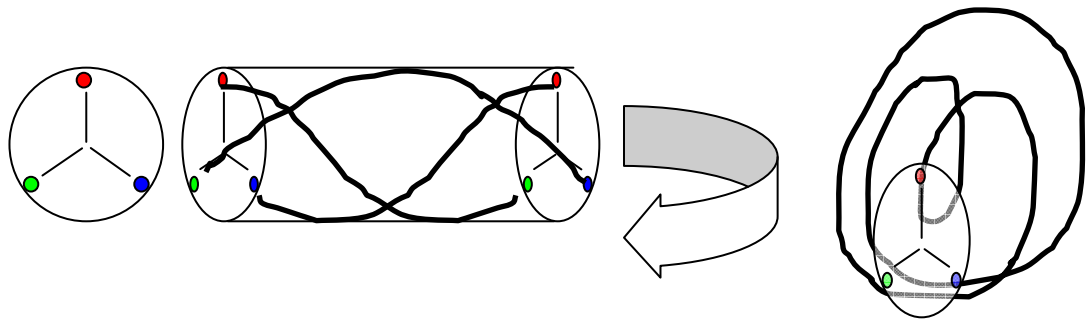


Ora prendendo a casaccio fili dalla scatola realizziamo mediante la spina tripla *tutti* i collegamenti possibili fra gli spinotti liberi. Si troverà, richiudendo le spine elettriche, che *solo in certi casi si forma, per caso, un filo che si chiude su sé stesso*.

Ci si può aiutare con il calcolo, o con la grafica di un computer, oppure si possono costruire fisicamente dei modelli. Il risultato finale è abbastanza strabiliante: *queste combinazioni a filo chiuso rappresentano le particelle elementari. Tutte le particelle elementari*.

Precisamente si trovano *tutte* le combinazioni (e *solo* quelle) che realizzano l'ottetto a quark dei barioni, il decupletto a quark dei barioni, l'ottetto a quark dei mesoni e le rispettive antiparticelle (vedi [n13]).





Come giustificare questo risultato?

In verità c'è un modo semplice per verificarlo.

Basta stabilire una corrispondenza biunivoca fra nome e carica dei quark e i pezzi di elica che abbiamo adoperato.

Qui ci basta il risultato. Cosa dice di interessante?

Tanto per cominciare, il fatto in sé. Un giochetto di incastri, come un gioco per bambini, ricostruisce le particelle elementari conosciute. Ce ne dà, per così dire, una immagine fisica. Non possiamo pretendere che questa sia reale, ma certamente è suggestiva.

Ma, in più, con delle interpretazioni.

Una prima interpretazione riguarda le particelle elementari che esistono. Perché quelle? E perché solo quelle? Ebbene...sono quelle che danno un filo chiuso su sé stesso.

La nascita di una particella elementare viene collegata con un concetto mnemonico, o almeno pittoresco: "nasce un filamento chiuso". In più, ciò avviene con dei componenti che sono pezzi di elica. Con quei pezzi di elica le particelle che si formano sono tutte, tutte quelle che si sa che esistono.

Ma non solo sono tutte: sono *soltanto quelle*, non è possibile formarne altre.

Una seconda interpretazione riguarda la carica elettrica. Sembra esserci la conferma che la carica elettrica corrisponda ad una rotazione interna, e che i quark abbiano in qualche modo una forma che possiede *parte* di quella rotazione.

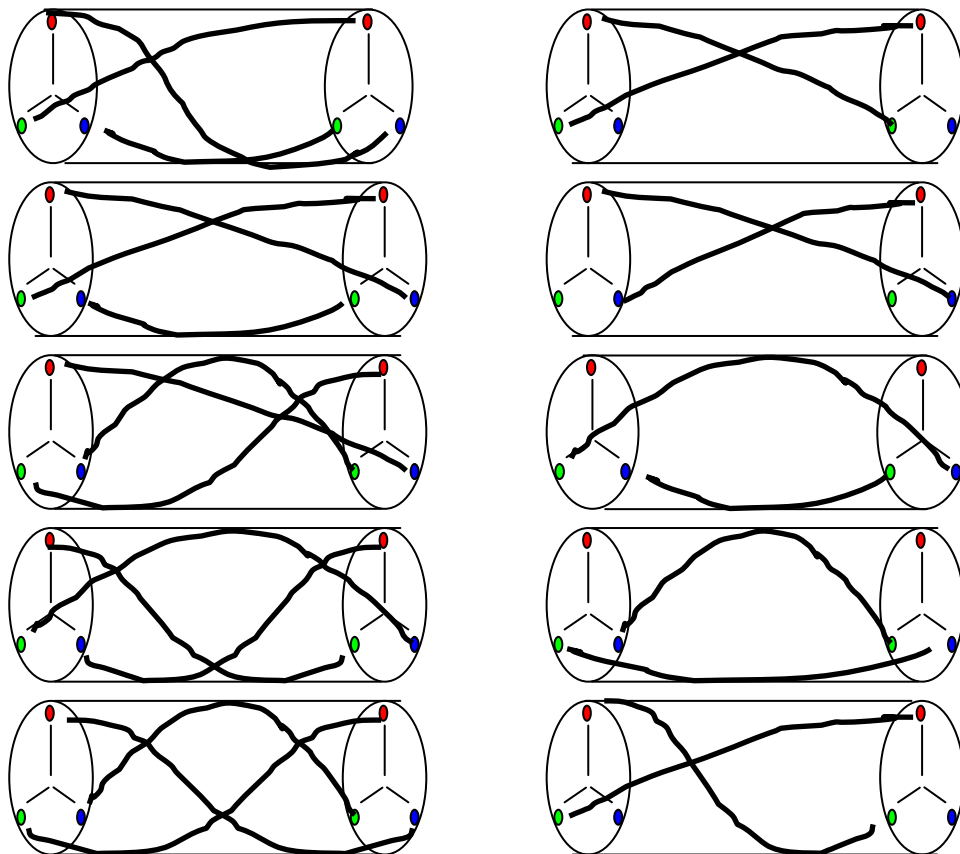
Difatti il filamento finale che nasce ha una sua rotazione interna. Essa corrisponde esattamente alla carica che si sa deve avere quelle particella. Ma i pezzi dell'incastro hanno a loro volta una rotazione parziale. La loro rotazione è proprio quella che corrisponde alla carica frazionaria dei quark.

Una terza interpretazione riguarda l'indizio dei 120 gradi. E' stato necessario ricorrere ad una simmetria a 120 gradi per costruire un modello fisico funzionante.

Questi 120 gradi dunque pare che abbiano un corrispettivo geometrico.

Una quarta interpretazione riguarda le eliche. Effettivamente sembra che si propongano forme a elica come nella biologia. Precisamente risultano combinazioni a due eliche che corrispondono alle combinazioni quark-antiquark dei mesoni e combinazioni a tre eliche che corrispondono alle combinazioni QQQ di tre quark dei barioni.

Ecco alcuni disegni delle strutture che nascono:



Si impone una osservazione finale. Il modello appare *isomorfo* con il modello a quark. Per isomorfo intendiamo *che presenta le stesse proprietà*.

Se si individua un modello, isomorfo con il modello a quark, nel quale si attribuiscono a dei coniglietti le proprietà dei quark, è chiaro che il modello funziona come il modello a quark, ma questo non significa che le particelle elementari siano fatte di coniglietti.

Il modello qui testé presentato è isomorfo.

Questo però non è di per sé un difetto.

Un modello *deve* essere isomorfo, perché deve fornire tutte quelle proprietà, riscontrate in anni di sperimentazioni, che sono ben riprodotte dal modello a quark. Semmai potrà essere valutato sulla base di un maggiore significato fisico, o di un maggiore “appeal”, o se con *meno* ipotesi arbitrarie è in grado di spiegare *più* fatti, o per i fatto che fornisca una immagine visiva.

Nel caso presente è interessante il fatto che le combinazioni lecite che danno luogo a particelle osservabili abbiano una interpretazione suggestiva: sono quelle *che corrispondono alla creazione di un filamento chiuso*.

Già questo è interessante. Dice difatti Franzinetti [34]:

“I multipletti di cui abbiamo parlato precedentemente **sono i soli osservati sperimentalmente** ma **non sono i soli previsti** nello schema di SU(3)”.

(Il grassetto è mio).

Ossia: nello schema di SU(3) non c'è una interpretazione del perché siano vietate altre particelle. La imposizione del filamento chiuso ne dà invece una interpretazione, se non certa, almeno interessante come ipotesi.

Si noti comunque che non a caso abbiamo parlato di modello.

Potremmo parlare di “modello equivalente” così come in elettrotecnica si introduce la nozione di “circuito equivalente”.

Rammentiamo alcune cose già dette.

Il sistema fisico, di cui si costruisce un modello equivalente, si comporta riguardo a suoi certi parametri *come se* fosse fatto alla maniera del modello.

Il modello:

1-vuole essere una riproduzione del sistema fisico sotto studio *solo relativamente ai parametri presi in esame*

2-non ha necessariamente una aderenza *geometrica o di forma o di materiali* con esso.

Si pensi, per fare un esempio, ad una serie di circuiti elettrici risonanti che facciano da modello alle vibrazioni di una campana o alle corde di una chitarra.

Siamo in questa situazione. Non possiamo essere certi di questa immagine fisica dei quark come eliche. In questo senso abbiamo creato a tutti gli effetti un modello equivalente.

In questo caso forse non potremmo nemmeno parlare di un modello. Possiamo chiamarlo un gioco di enigmistica. Però è suggestivo. La attribuzione della carica ai quark considerandoli pezzi di elica risulta quantomeno coerente con la ipotesi della carica come polarizzazione interna. Inoltre è interessante la interpretazione del filamento chiuso.

Vedremo nel capitolo sulla biologia delle particelle una variante a questa immagine fisica dei quark, che risulta ancor più soddisfacente.

Riassumendo: la ipotesi della carica come rotazione interna sembra applicarsi senza contraddizioni anche ai quark, e in più ci dà un'immagine della composizione delle particelle.



## 6.4- Disposizioni spaziali

Domandiamoci quale disposizione spaziale potrebbero assumere i quark. Abbiamo immaginato di collegare fra di loro con pezzi di elica, i quark, due spine triple, che poi vengono richiuse l'una sull'altra.

Come abbiamo ampiamente illustrato, si forma un unico filo chiuso.

Per proseguire mi aiuto con dei colori.

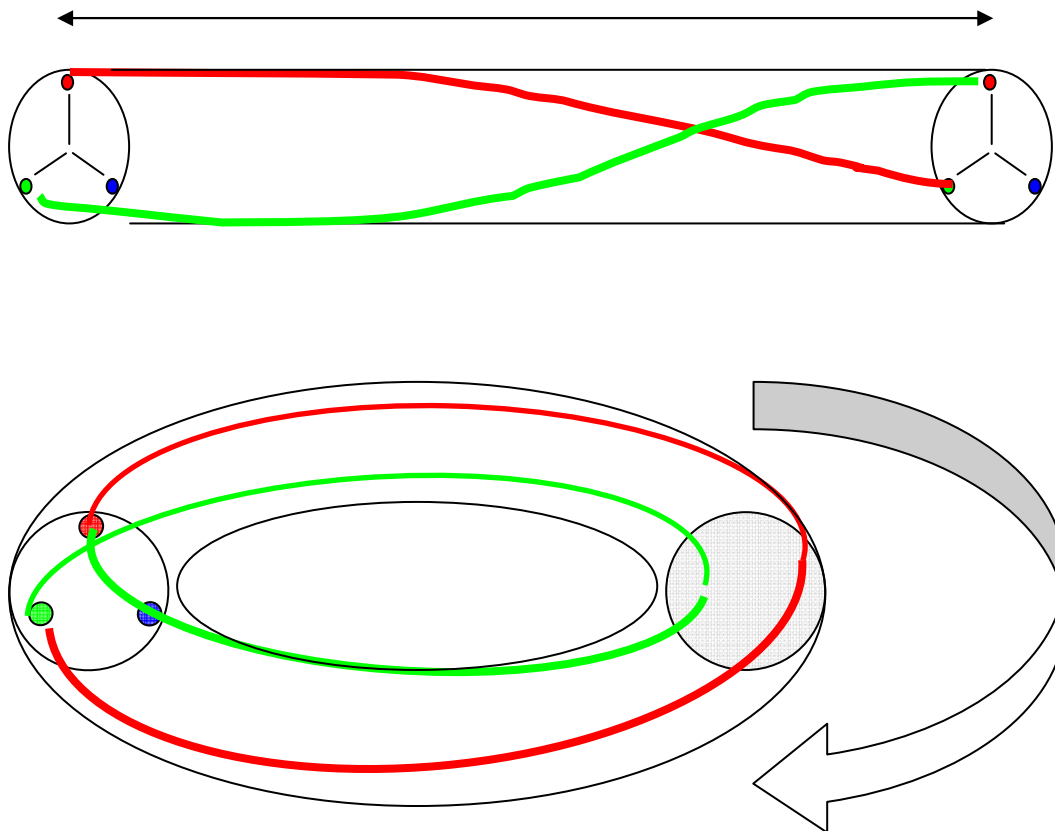
Uso i colori unicamente per distinguere i vari pezzi di elica, senza dare nessun significato particolare al colore.

Avvolgiamo i pezzi di elica, i quark, fra due spine ad una certa distanza fra loro.

Disegno uno dei due quark con il colore rosso, e l'altro con il verde.

Un tubo flessibile ci servirà di aiuto per la operazione di avvolgimento, dopodiché lo chiuderemo su sé stesso a ciambella.

Il risultato è che i pezzi di elica sono disposti sulla superficie di un toro.



Il quark di colore rosso forma un unico anello chiuso, di colore rosso.

Un altro anello, di colore verde, è l'altro quark.

(In realtà i singoli anelli non sono chiusi, a conferma di una impossibilità di loro vita indipendente. Solo la loro combinazione forma un filo chiuso.)

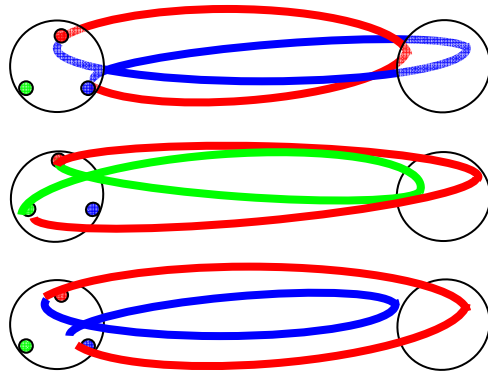
Abbiamo visto che tutte le combinazioni fatte a casaccio con i pezzi di elica **u**, **d**, **s**, e che realizzano un filo chiuso, rappresentano le particelle elementari. Tutte le particelle elementari.

Precisamente si trovano tutte le combinazioni (e solo quelle) che realizzano l'ottetto a quark dei barioni, il decupletto a quark dei barioni, l'ottetto a quark dei mesoni e le rispettive antiparticelle.

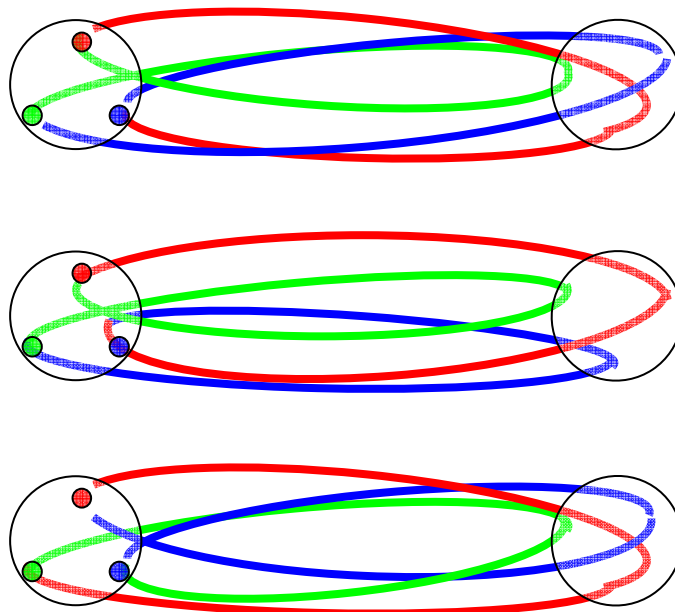
Possiamo dunque tranquillamente disegnare una serie di combinazioni **u, d, s** a filo chiuso, essendo certi che rappresentano mesoni o barioni.

La loro disposizione spaziale è sempre di un unico filo, avvolto su un toro.

Ecco qua una serie di mesoni



ed ecco invece alcuni barioni



Consideriamo una diversa ipotetica disposizione spaziale.

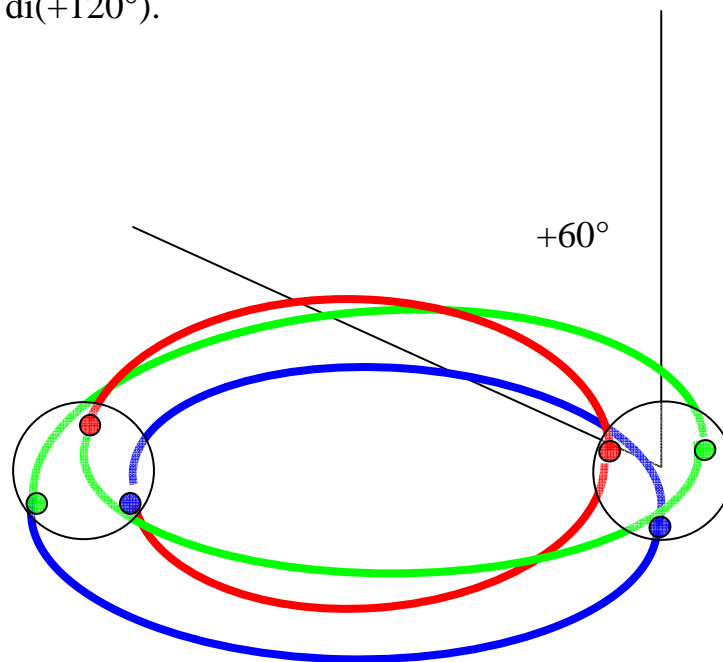
Ognuno dei singoli pezzi di elica ha una sua precisa individualità.

Nel seguente esempio il rosso parte dallo spinotto rosso e finisce sullo spinotto blu, avendo ruotato di(+120°) in senso orario.

(Si noti che il pezzo di elica rosso avrebbe potuto terminare sullo spinotto blu anche con una rotazione di (-240°), ma questo non è il caso, come mostra il riferimento ausiliario ruotato di +60° che ho disegnato a destra).

Segue il pezzo di elica blu, che parte dallo spinotto blu e finisce sullo spinotto verde, avendo ruotato di(+120°).

L'ultimo pezzo di elica verde parte dallo spinotto verde e finisce sullo spinotto rosso, avendo ruotato di(+120°).



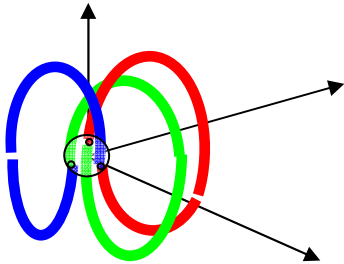
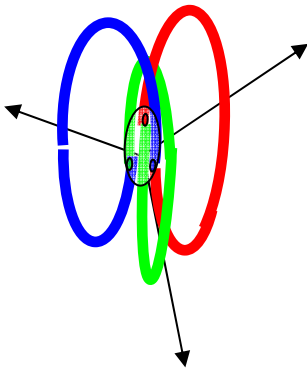
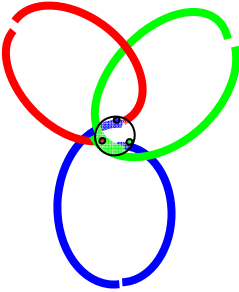
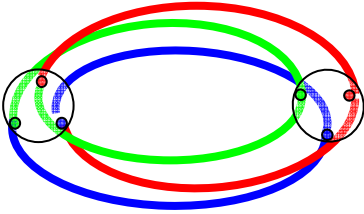
La individualità di ciascun pezzo di elica è quindi stabilita dal suo grado di torsione, o dalla rotazione di fase, rispettivamente (+1/3x360°), (-1/3x360°), oppure (+2/3x360°), (-2/3x360°). Possiamo anche considerare una frequenza di rotazione, o una pulsazione di rotazione, che stanno ancora nel rapporto 1 a 2, ovvero 1/3 rispetto a 2/3.

Per inciso queste pulsazioni nel rapporto 1 a 2, ovvero 1/3 a 2/3, potrebbero essere un utile indizio per lo sviluppo di una trattazione matematica, ma qui non è il caso di parlarne. Ci basta considerare questi “anelli elettromagnetici” come dotati di una loro precisa individualità.

La presenza di una interazione elettromagnetica fra gli anelli potrebbe portarli a disporsi nello spazio

- a trifoglio;
- su tre piani a 90° fra loro;
- secondo tre assi spaziali a 120°.

Senza nessuna pretesa di analisi matematica ma solo seguendo un concetto grafico di simmetria, disegna queste tre possibilità.



## 7-Una biologia delle particelle?

### 7.1- Eliche

A questo punto qualcuno potrebbe pensare che si voglia proporre una spiegazione completa della struttura delle varie particelle elementari e magari di tutti i fenomeni di produzione e di decadimento delle stesse.

Non ci avventureremo in nulla di simile. Se fino ad ora abbiamo introdotto ipotesi fantastiche, pur tentando di supportarle con un poco di matematica, da ora in poi introdurremo ipotesi ancor più fantastiche, con ancor meno matematica.

Ci inoltreremo nella biologia.

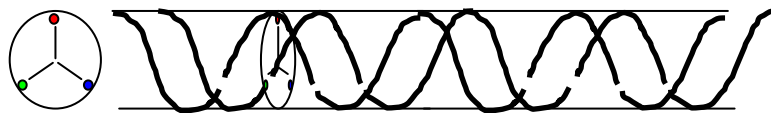
Abbiamo trovato eliche. Per meglio dire abbiamo *ipotizzato* eliche. Queste sarebbero i quark.

Abbiamo poi notato che la insistente forma dell'elica e per di più la presenza di eliche doppie e triple fa venire alla mente forme analoghe della biologia.

Esiste un altro indizio.

Per comporre le particelle mediante eliche-quark è stato necessario ricorrere ad una simmetria a 120 gradi. La più nota elica che compare in biologia è la doppia elica del DNA. Orbene anche nel DNA compare una simmetria a 120 gradi.

Le due eliche invece di essere banalmente contrapposte a 180 gradi, sono a 120 gradi.



Ci sono precise ragioni per questo, ma ora non ci interessano. Constatiamo un dato di fatto:

*c'è una simmetria a 120 gradi.*

Possiamo ben parlare di nulla più di un indizio, ma è curioso, è strano, è sospetto.

Con un libero volo di fantasia possiamo dire che questo è un ulteriore elemento di analogia fra la composizione interna ad eliche-quark e la biologia molecolare?

Sono indubbiamente assonanze piuttosto vaghe per prendere seriamente in considerazione la cosa, a parte il suo fascino.

Però, insistendo in questo punto di vista, esiste un altro fatto che potremmo definire del tutto imprevisto che avvalora l'idea di una disposizione dei quark ad eliche con una simmetria di 120 gradi.

Il fatto è il seguente.

Se i quark sono eliche, come stanno assieme?

In un certo senso potremmo dire che abbiamo risposto: si forma un filamento unico. Perché esso si formi sono necessarie le rotazioni parziali di 120 gradi o di 240 che abbiamo esaminato, e quindi la simmetria a 120 gradi.

Cosa dice invece la fisica su come stanno assieme i quark? Ci sono forze fra i quark, e c'è una teoria che lo spiega, quella del colore dei quark. Si tratta essenzialmente di una teoria matematica, ed una matematica difficile, salvo per coloro per i quali non lo è. I fisici hanno poi anche fabbricato delle spiegazioni visive per i non addetti, hanno cercato di raccontare la teoria dei quark colorati.

Bene, qual è il punto? Il punto è che la descrizione della teoria colore dei quark sembra proprio raccontare...il modello che abbiamo immaginato qui.

Vediamo come.

## 7.2- Colori e quark

Armata di fantasia avventuriamoci ad immaginare una interpretazione per la teoria dei quark colorati.

Cosa è la teoria dei quark colorati?

Secondo Yoichiro Nambu [35] che ne è uno degli inventori la cosa ebbe inizio così. Nelle particelle a volte ci sono dentro più quark uguali. Per esempio nel protone “uud” ci sono due quark “u”.

La cosa è strana e secondo la fisica è vietata.

E' vietata dal principio di esclusione di Pauli, che in sostanza dice che quei due quark essendo uguali non possono star lì assieme, nel medesimo posto. Devono differire in qualche cosa.

Siccome però due quark “u” sono due quark “u”, eguali in tutto e per tutto, Nambu e altri dissero: “hanno colori diversi”.

A questo punto finanche un barione con tre quark tutti uguali, esempio “ddd”, ha così diritto di esistere. Basterà supporre che ogni quark “d” abbia un diverso colore.

Assegnando a tutti i quark un numero quantico ulteriore, questo “colore”, è possibile con tre colori sistemare le cose.

Ogni antiquark ha l'anticolore del suo quark. Esempio “u rosso” ha “u antirosso” come antiparticella. I tre anticolori sono i complementari dei tre colori: ogni colore assieme al suo anticolore dà il bianco.

Colori quark

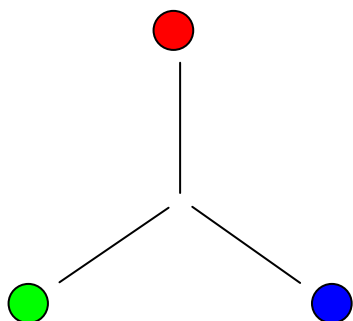
		
R	G	B

Anticolori (colori complementari)

$\bar{R}$	$\bar{G}$	$\bar{B}$
-----------	-----------	-----------

A volte si adoperano colori complementari per rappresentare gli antiquark. Altre volte invece si adoperano gli stessi colori, con sopra scritta la barretta che sta a indicare “anticolore”.

Il tutto si rappresenta con schemi a 120°:



Sia ben chiaro che questa è matematica pura, è fisica matematica, quindi questi colori non hanno niente a che vedere con colori reali. Così la posizione a 120 gradi non ha niente a che vedere con una posizione reale a 120 gradi.

*Noi invece supporremo fra un po' che questi 120 gradi siano legati a una posizione reale.*

Torniamo a cosa dice la teoria dei quark colorati.

Se ciascun quark esiste in uno dei tre colori, esiste uno sfracello di quark e così pure dovrebbero esistere chissà quante nuove particelle composte.

Ma così non è, basta supporre che ogni particella debba essere "incolore".

Assegniamo ai tre colori la proprietà di dare, presi assieme, il colore bianco.

L'obbligo per ogni barione di essere incolore cioè "bianco" limita il numero di barioni esistenti a quelli conosciuti. Per quanto riguarda i mesoni, tutti composti di quark più antiquark, il colore bianco si impone che si realizzi con la presenza di un colore con il suo anticoloro.

Riassumendo ogni barione è sempre formato dal miscuglio R G B di rosso verde azzurro, mentre ogni mesone è formato da un colore e dal suo anticoloro.

La teoria, nata per spiegare la presenza di quark uguali all'interno delle particelle, ha avuto poi un seguito nella QCD, "cromodinamica quantistica".

Cosa dice la QCD? I colori sono ritenuti responsabili delle forze che tengono legati i quark.

E' un continuo scambio di colori che tiene legati i quark. Lo scambio di colori avviene mediante ipotetiche particelle "gluoni", da "glue", colla. In questa visione i quark di un barione stanno assieme perché cambiano continuamente di colore scambiandosi gluoni, mentre in qualunque istante c'è sempre comunque la presenza contemporanea dei tre colori R G B.

Per quanto riguarda i mesoni, in essi in ogni istante è presente un colore e il suo anticoloro. Però nel tempo deve esserci una eguale presenza di ciascuno dei tre colori.

Fin qui la teoria.

Ora facciamo un gioco.

Il gioco, in breve, consiste nell'attribuire il concetto matematico, astratto, di colore, al concetto fisico, reale, di posizione. La posizione di ciascun connettore nella spina tripla.

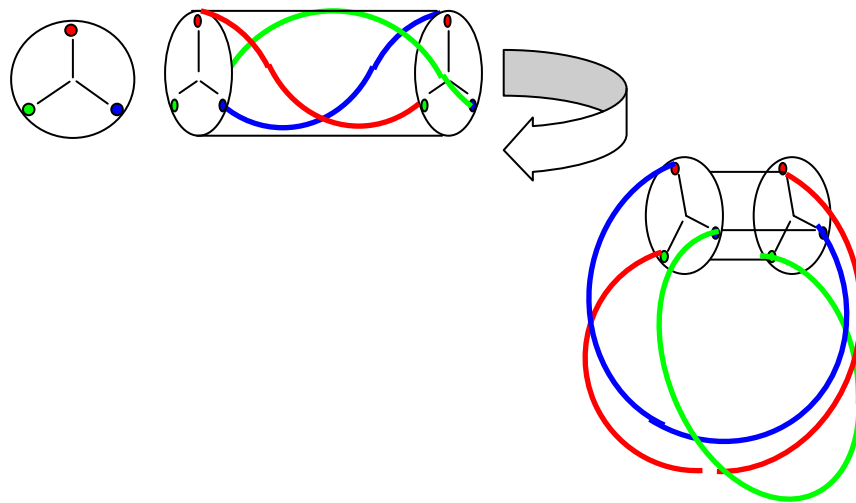
Avevamo già usato i colori per distinguere le posizioni dei connettori.

Adesso però facciamo un cambiamento drastico. Agli stessi colori che avevamo adoperato per distinguere i connettori diamo il significato di una teoria fisica.

Realizziamo con due spine triple una combinazione a tre fili (quark) che dà origine a un barione.

Come si vede il rosso si congiunge col verde, il verde va sul blu e infine il blu sul rosso.





Una volta fatti i collegamenti, la spina tripla di arrivo, quella di destra, verrà ruotata di 360 gradi e richiuderà il collegamento.

Come già avevamo visto, si realizzerà così un filamento chiuso, attorcigliato su una ciambella (“toro”).

E’ proprio a questo filamento chiuso che abbiamo attribuito la stabilità della particella.

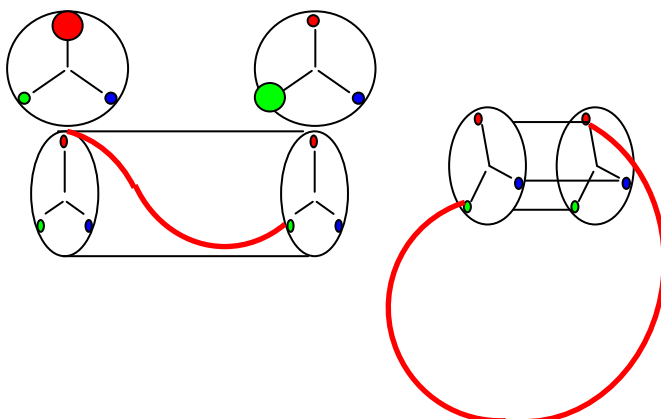
Le particelle elementari “autorizzate ad esistere” sono difatti tutte e sole quelle che corrispondono a combinazioni di quark tali da dare un filamento chiuso. E’ nato un barione.

In questo momento poco ci importa di quale barione si tratti, ovvero poco ci importa di quali quark abbiamo fatto uso. Per fissare le idee, possiamo immaginare che i fili siano torti, come in figura, di  $+240^\circ$  ossia siano tutti quark “u”.

Il gioco ora consiste nell’attribuire il colore ai quark.

Abbiamo detto che dal **rosso** si parte con un filo che è un quark “u”. Possiamo dire che è un quark “u rosso”.

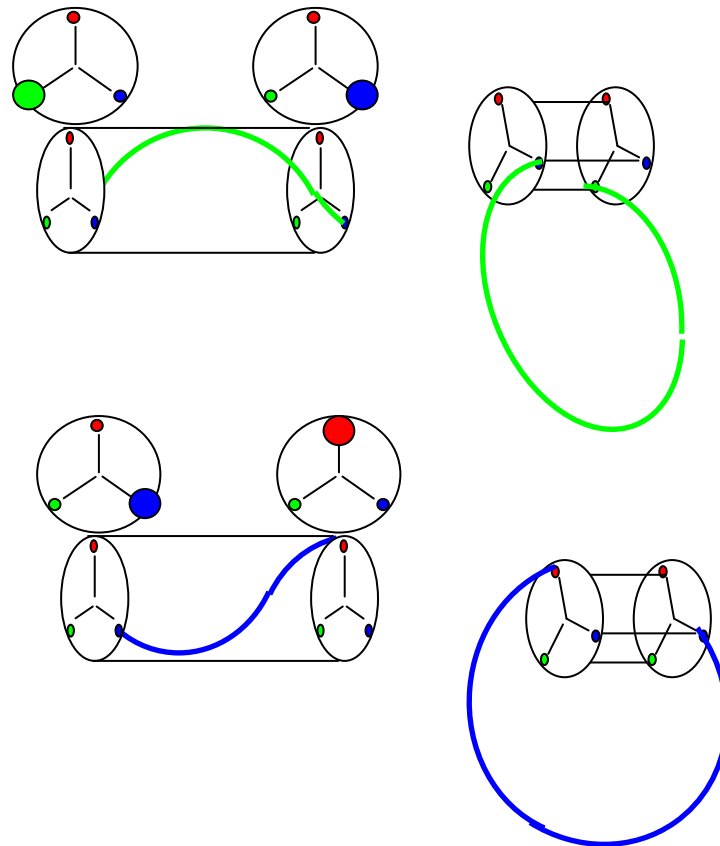
Come si vede il quark “u” parte dallo spinotto rosso e arriva a quello verde. Possiamo dire che nella posizione finale è diventato un quark “u verde”. Avrebbe dovuto in ogni caso arrivare ad uno spinotto di un altro colore, non rosso, perché i collegamenti previsti “ruotano”, o di  $+120^\circ$  oppure di  $+240^\circ$ . Quindi il quark avrebbe dovuto cambiare colore.



Passiamo al secondo quark “u”.

Questo nella posizione iniziale è verde, nella posizione finale è blu.

Infine l’ultimo, “u”, passa da blu a rosso.



Ciò che è avvenuto non è un puro caso. Nel modello che abbiamo assunto è una proprietà generale dei barioni.

Nei barioni, difatti, tutte le tre posizioni sono occupate.

Dunque è presente ciascuno dei tre colori.

Pertanto la particella è incolore.

Tuttavia, in più, le posizioni sono occupate ma *come*?

Sono occupate adoperando fili ritorti di 120 gradi o di 240 gradi, mai fili diritti.

Questa condizione è necessaria per la formazione di un filamento chiuso. Essa fa sì che ogni quark cambia continuamente di posizione, ossia cambia di colore.

Possiamo dire nel nostro gioco che è il continuo cambio di colore dei quark che “regge assieme” la struttura a filamento chiuso.

Riassumendo, questa è di fatto la sostanza del fenomeno. Ciascun quark, causa la rotazione interna, muta continuamente di posizione. L’obbligo del continuo cambio di posizione di tutti e tre i quark diventa così sinonimo del fatto che i quark sono avvolti a formare una tripla elica e un filamento chiuso. In ciò potrebbero consistere le “forze” che tengono attaccati i quark nella particella.

Pressappoco lo stesso discorso, con poche varianti, vale per i mesoni.

Possiamo immaginare modelli alternativi?

### 7.3- Eliche e colori

Abbiamo fantasticato sulla presenza di varie eliche.

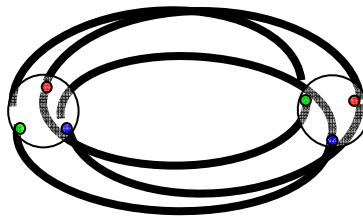
Abbiamo visto che una particella semplice come l'elettrone ha una interpretazione con una elica.

Abbiamo poi associato i quark a pezzi di elica.

Abbiamo individuato le composizioni di quark, di eliche, che potrebbero giustificare i barioni e i mesoni.

I barioni ci hanno proposto eliche triple, avvolte a formare un unico filamento.

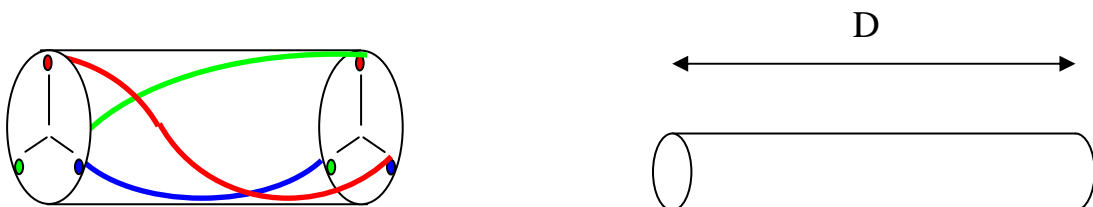
I mesoni invece li abbiamo associati ad eliche doppie.



Questo discorso, tuttavia, è un po' ambiguo. Consideriamo un barione come nella figura. E' vero che esiste un'elica tripla, nel senso che, richiusa la figura, noi *vediamo* avvolta un'elica tripla. Ma questa è un'elica tripla *apparente*. Difatti, come noi sempre ripetiamo, s'è realizzato un filamento chiuso. Ma allora...siamo di fronte a un filamento chiuso o a tre filamenti separati, ossia a tre vere eliche, distinte, accostate fra di loro?

Facendo ricorso alla immaginazione possiamo associare doppie e triple eliche ai mesoni e ai barioni in una maniera ancora più esplicita.

Pensiamo ad un modello alternativo a quello che abbiamo proposto, o se si vuole una evoluzione di esso. Consideriamo il seguente esempio:



In questo esempio i fili vengono torti rispettivamente di  $120^\circ$  e  $240^\circ$ .

Si rammenterà che dicemmo di avvolgere i fili – quark fra due spine, distanti D fra loro. Un tubo flessibile ci sarebbe servito di aiuto per la operazione di avvolgimento, dopodiché l'avremmo chiuso su sé stesso a ciambella.

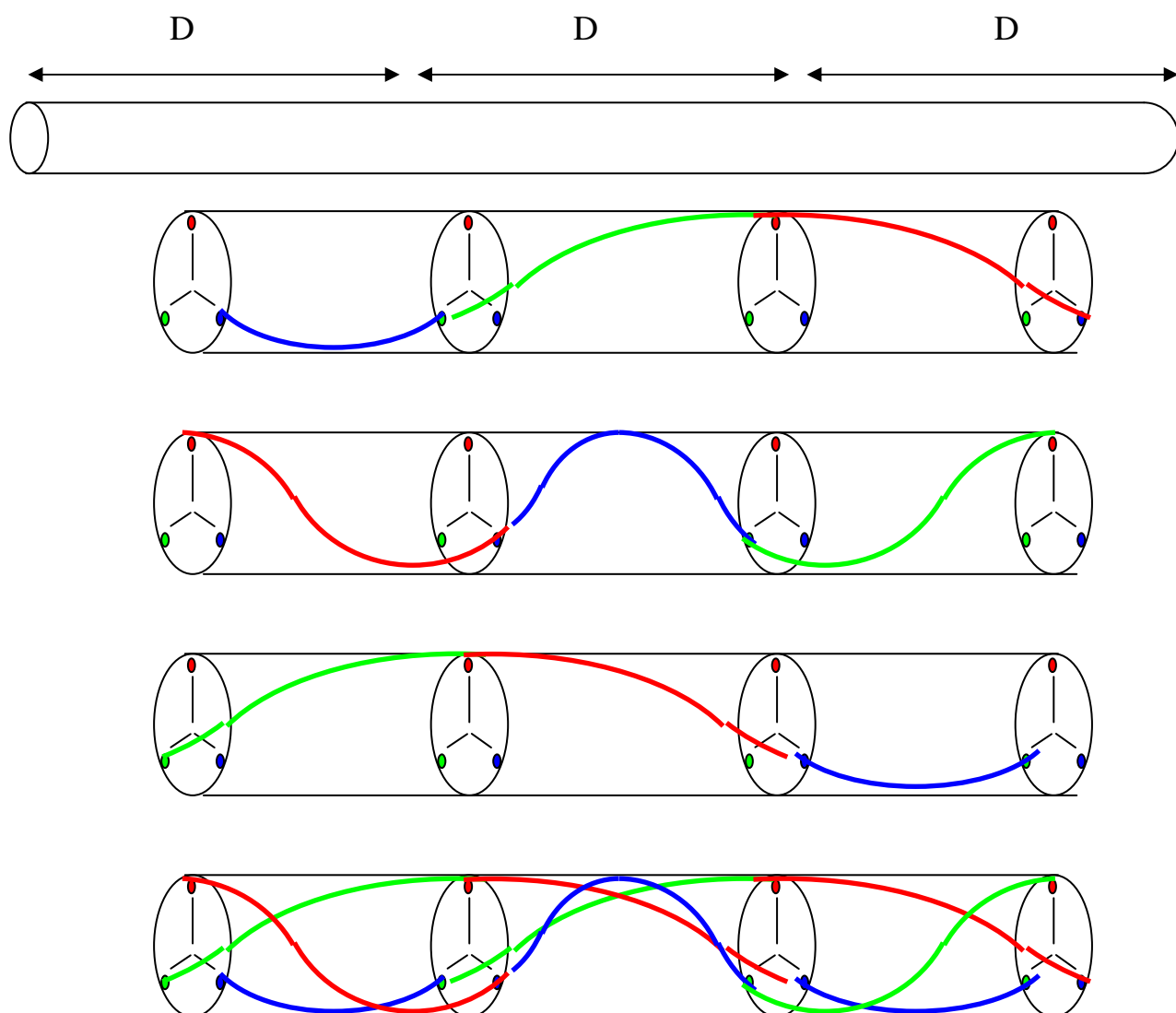
Sulla ciambella avremmo veduto avvolte tre *apparenti* eliche: una apparente tripla elica, in realtà un filo chiuso.

Facciamo ora con la seguente variante: poniamo le due prese elettriche ad una distanza maggiore e precisamente 3 volte maggiore. Ci servirà un tubo di gomma 3 volte più lungo. Avvolti i fili esattamente come prima per una distanza  $D$ , proseguiamo ad avvolgere.

Un filo che era torto di  $120^\circ$  verrà ruotato di  $120^\circ$  nella prima distanza  $D$ , altri  $120^\circ$  nella seconda distanza  $D$  e infine altri  $120^\circ$ . Dopo tre avvolgimenti ripetuti si sono totalizzati  $360^\circ$ , un giro completo. Si ritorna al punto di partenza.

Il filo che era torto di  $240^\circ$  verrà ruotato di  $240^\circ$  nella prima distanza  $D$ , poi altri  $240^\circ$  e poi altri  $240^\circ$ . Il tutto è pari a  $720^\circ$ , due giri completi. Quindi dopo tre avvolgimenti ripetuti anche questo filo ritorna al punto di partenza.

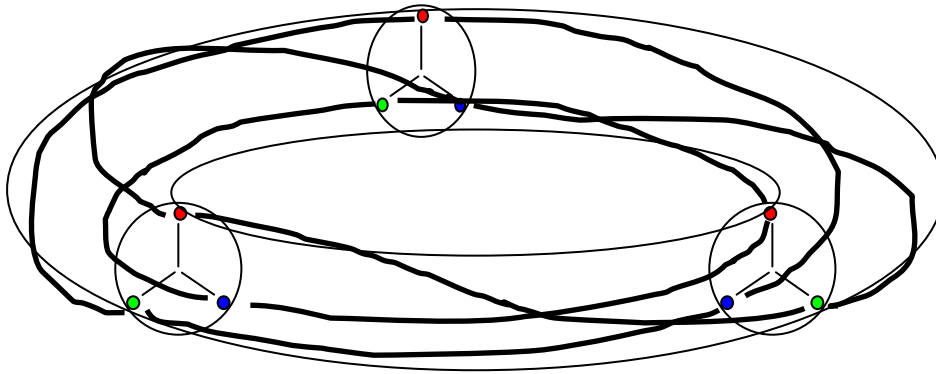
Idem per il terzo filo.



Questa è la situazione. Ogni filo ha ripreso la sua posizione iniziale.

Possiamo a questo punto richiudere il tubo flessibile su di sé a forma di ciambella.

Ogni filo si richiude su sé stesso. Si formano tre eliche.



*In circolo sulla ciambella è avvolta una tripla elica.*

Si tratta questa volta di una *vera* tripla elica, tre eliche distinte avvolte assieme.

Si dirà: questo è soltanto un esempio.

Non è così.

Se adottiamo questa variante del modello a quark, tutte le particelle che abbiamo classificato si raggruppano in doppie o triple eliche distinte. Difatti a tutti i quark e gli antiquark abbiamo associato rotazioni che sono inevitabilmente ( $+120^\circ$ ) oppure ( $-120^\circ$ ) o ( $-120^\circ$ ) o ( $-(240^\circ)$ ). Pertanto, qualunque sia la composizione a quark della particella, dopo tre avvolgimenti ripetuti ogni filo può richiudersi su sé stesso a formare una perfetta elica.

Chi è in queste condizioni che ha diritto di essere chiamato *un quark*?

I quark potrebbero essere le singole eliche.

Le particelle che potremmo formare con queste regole sarebbero le stesse dello schema classificativo precedente.

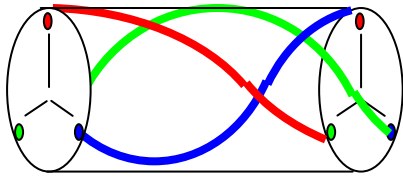
Non sappiamo immaginare se e quanto queste eliche potrebbero prolungarsi. Difatti di questi pezzi ne possiamo immaginare in sequenza quanti ne vogliamo.

Abbiamo poi strutture, come si vede, con eliche a passo differente.

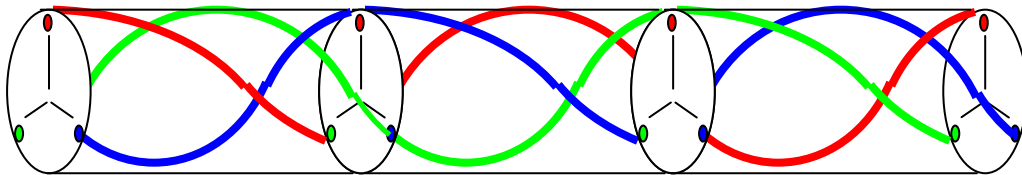
E' possibile pensare a strutture alternative dove sono presenti eliche, doppie o triple, a passo costante, a 120 gradi fra loro

E' possibile infine pensare a strutture che, dopo lunghi avvolgimenti ad eliche (apparentemente) separate, si richiudano nuovamente su sé stesse a formare un filamento unico.

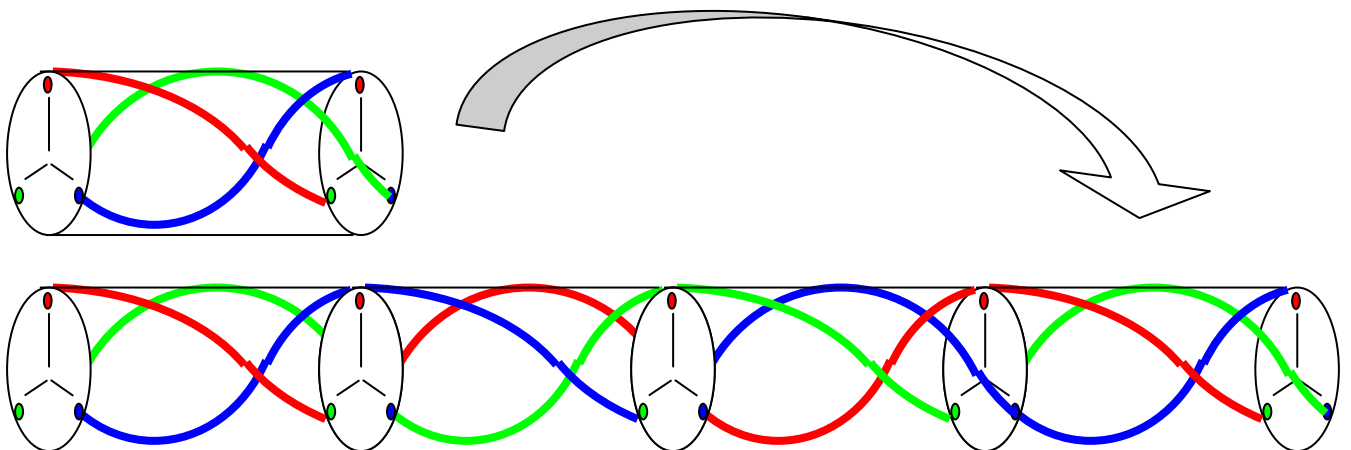
Infatti consideriamo una qualunque combinazione lecita di quark.



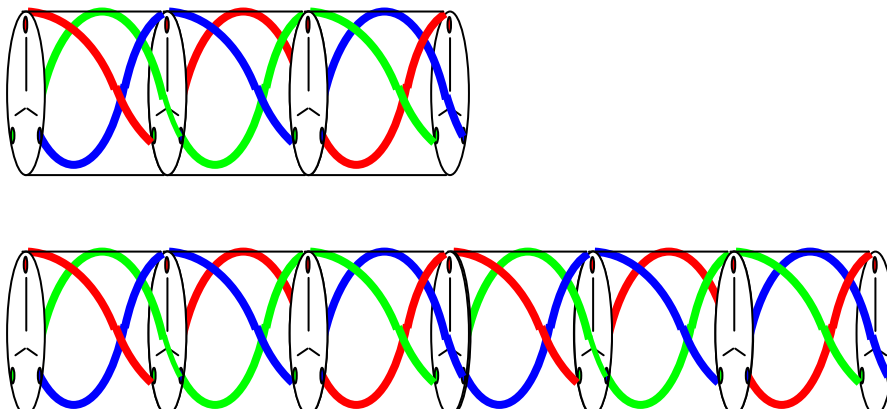
Come abbiamo già notato, se si ripete tre volte questa struttura, la situazione ritorna al punto di partenza.



Pertanto risulta possibile porre in fondo l'elemento iniziale



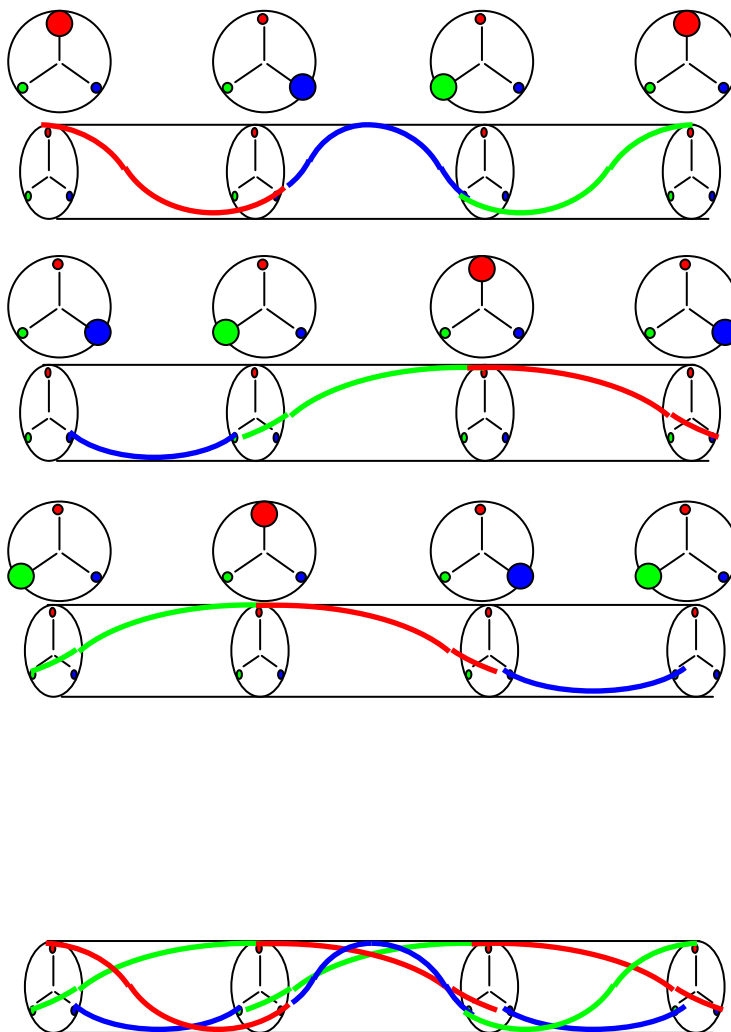
e richiudendo la struttura su sé stessa si formerà ancora un fili chiuso.  
Questa modalità di allungamento si può ripetere all'infinito:



e si può immaginare che le strutture così formate mantengano le stesse proprietà salvo crescere in *energia*.

Ora esaminiamo la teoria dei quark colorati, applicata a questa variante del modello. E' possibile ipotizzare anche in questo caso una interpretazione per il colore. Anzi vale inalterata.

Consideriamo la situazione precedente e associamo il colore ai quark, dando ad esso un significato fisico.



Nella figura è immaginato un neutrone udd.

In partenza la combinazione di quark sia, supponiamo, u rosso, d blu e d verde.

Il quark u rosso cambia colore ruotando di  $240^\circ$  a sinistra, e diventa blu. Ruota di altri  $240^\circ$  a sinistra e diventa verde. Con una ulteriore rotazione, ritorna rosso.

Invece il quark d blu cambia colore ruotando di  $120^\circ$  a destra, diventa verde e poi prosegue così, sempre con rotazioni di  $120^\circ$  a destra. Idem per il quark d verde.

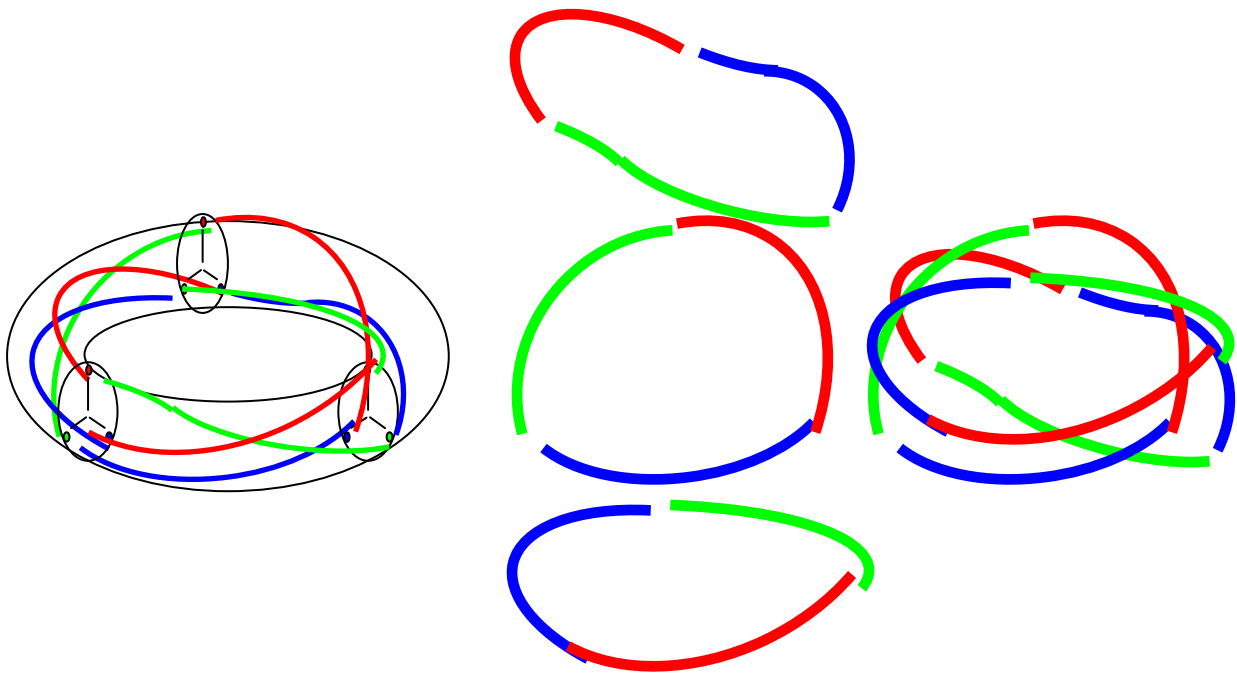
Ad ogni distanza  $D$  tutti i quark cambiano di colore.

Il continuo cambio di colore viene causato dal cambio di colore che c'è in ciascuna posizione.

Ancora una volta la sostanza del fenomeno è questa: ciascun quark, causa la rotazione interna, muta continuamente di posizione. L'obbligo del continuo cambio di posizione, unito all'obbligo d'aver sempre tutte le posizioni occupate, è sinonimo della formazione dell'elica tripla e del cambio di colore.

Possiamo immaginare una tripla elica chiusa su di sé a forma di ciambella.

Ad ogni giro ogni quark cambia di colore tre volte. Dopo un giro intero, ogni quark ha ripreso il suo colore.



Modelli di questo genere si presterebbero molto bene per “spiegare”, si fa per dire, la teoria dei quark colorati.

Prendiamo alcune affermazioni [35] [36] dalla descrizione della teoria dei quark colorati.

Ad esempio esaminiamo la frase “un quark di un dato sapore ha le stesse proprietà e la stessa massa indipendentemente dal colore” (si rammenta che la caratteristica “u” “d” “s” per i quark è denominata “sapore”). Questo fatto si verifica bene perché il colore l’abbiamo legato alla posizione, quindi un quark cambiando colore non è cambiato: ha cambiato posizione. Il quark “u” per esempio cambia continuamente di colore ma resta sempre un quark u.

Altra frase: “...dato che i gluoni si scambiano continuamente, non è possibile dire di quale colore sia un dato quark in un istante qualsiasi”. Questo lo si vede bene, cambiando continuamente di posizione non si sa mai dire in che colore abbia un quark. Tuttavia “..se tutti gli adroni sono incolori, le probabilità dei tre colori sono uguali”. Difatti, come si vede, ogni quark trascorre equamente il suo tempo fra rosso verde e azzurro.

I gluoni sono ritenuti i responsabili della forza forte. Consideriamo l’affermazione “..quando un quark emette o assorbe un gluone (cioè cambia di colore), cambia colore ma non sapore”.



Anche questa è facilmente interpretabile, difatti il quark cambia di posizione ma è sempre lui.

Ancora: “Se il numero quantico di colore è responsabile del legame tra i quark, allora si può capire immediatamente l’assenza di legami forti tra i leptoni, perché i leptoni non hanno colore”. Difatti, i leptoni non hanno posizioni in un’elica tripla né doppia. Il colore è anche ritenuto responsabile del “confinamento dei quark”. Questo nasce dal divieto che possano esistere, libere, particelle colorate. In effetti nel nostro schema una particella colorata libera non potrebbe mai esistere perché, essendo da sola, non avrebbe più alcuna posizione rispetto ad altre quindi non avrebbe colore. Semmai, mostrandosi un attimo:

*“...un antiquark si attaccherebbe al quark estratto, formando un mesone. ... Così, invece di isolare un quark colorato, tutto ciò che si riesce a ottenere è la creazione di un mesone incolore”.*

Questo è interessante.

Lo useremo fra un po’ per immaginare la *riproduzione*.

Ma terminiamo qui.

Proviamo ancora una volta a tirare una conclusione.

Possiamo dire di essere arrivati ad un modello finale per i quark?

Certamente no.

L’unica cosa che appare è un invito a ragionare su modelli con eliche doppie o triple, con una simmetria a 120 gradi. Le interazioni e quindi poi le forze di legame fra queste eliche, pensate come circuiti elettrici accoppiati, sarebbero di natura elettromagnetica, come fra bobine elettriche fortemente accoppiate.

Il fisico Asim Barut citato in [5] sostiene che le interazioni deboli e anche le interazioni forti siano in realtà elettromagnetiche. Per la precisione le interazioni forti sarebbero forze magnetiche a corto raggio. Esse terrebbero legati i mesoni e i barioni. Ora queste forze sarebbero le forze che si manifestano fra le eliche.

Anche Hestenes adopera questa idea per immaginare un interallacciamento di eliche. Noi abbiamo tentato qualcosa di simile, cercando di farci una immagine fisica dei quark che giustifichi anche la teoria del colore. Ma non abbiamo una immagine unica. Sono possibili varie alternative.

Per di più ci siamo allontanati strada facendo dalla interpretazione della carica elettrica. Nel caso dell’elettrone c’era una plausibile giustificazione anche numerica della carica elettrica. Ora questa giustificazione s’è via via persa per strada. Ancora una volta abbiamo solo indizi.

Potremmo chiudere con il dubbio iniziale.

E’ possibile che le particelle elementari ripropongano le forme, o certe forme a elica della biologia?

Proviamo a immaginare i quark come pezzi di elica non dotati di una vita propria e andiamo avanti con l’immaginazione.

## 7.4- Eliche e particelle elementari

La natura ripropone forme eguali su scale differenti.

Passiamo a esaminare qualche idea di Hestenes [5].

David Hestenes ha prospettato una serie di ipotesi per giustificare la struttura delle particelle elementari.

Nel suo modello all'elettrone corrisponde una circolazione rotatoria, un cerchio se è fermo, che diventa un'elica quando l'elettrone viaggia. Al neutrino corrisponde un'elica che viaggia alla velocità della luce.

Queste sono le uniche eliche semplici e stabili: i leptoni stabili, ossia neutrini ed elettroni con le rispettive antiparticelle.

E le particelle composte?

Egli immagina strutture a eliche multiple, attorcigliate. Non è precisato quale sia la natura di questo attorcigliamento. Le eliche componenti sono le eliche semplici.

Tutte le particelle sarebbero formate da eliche, semplici o combinate.

Le eliche semplici sarebbero i leptoni.

Le eliche doppie sarebbero i mesoni e le eliche triple i barioni. Le particelle cioè nascerebbero da combinazioni di eliche. Per esempio Hestenes [5] prende in considerazione il mesone  $\pi^-$  greco negativo e lo immagina fatto di due eliche. Una delle due eliche è un elettrone. L'altra elica è un antineutrino. Le due eliche sono attorcigliate. L'elica dell'elettrone è attorcigliata attorno a quella dell'antineutrino. L'ipotesi è congrua con il fatto che il mesone si disfa proprio in un elettrone e un antineutrino.

Per quanto riguarda il protone, potrebbe essere fatto secondo Hestenes di tre eliche attorcigliate. Due eliche sono anti-elettroni ovvero positroni. Una è un elettrone. La carica complessiva è +1.

E perché il protone non si disfa nelle eliche componenti?

Potrebbero essere attorcigliate con un legame così forte, dice Hestenes, da impedire ad esse di separarsi, se non in ipotetiche condizioni estreme.

Potremmo prospettare ipotesi simili, ma con una differenza.

(Nella prima stesura del libro ero stato molto ampio su questo punto, ma ora lo enuncio sommariamente).

La differenza riguarda chi siano queste eliche componenti le particelle.

I componenti interni delle particelle non sarebbero i leptoni come pensa Hestenes, eliche dotate anche di una vita propria.

I componenti interni sarebbero proprio i quark, come prevede il modello a quark.

Essi, in quanto pezzi di elica che da soli non possono richiudersi su sé stessi se presi una alla volta, non avrebbero una vita esterna. Questo interpreterebbe anche il paradosso della esistenza dei quark, ma anche della loro...non esistenza come particelle isolate.

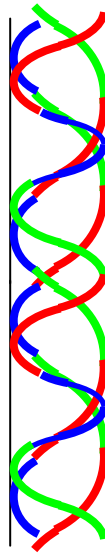
Ci sono, ma non possiamo pensare di isolarli. Al più, qualora scardinassimo una particella forzandoli ad uscire, faremmo apparire dei leptoni.

A questo punto possiamo fantasticare e immaginare qualcosa di più, una struttura vitale.

O quantomeno la rassomiglianza con certe forme della biologia.

La biologia ci mostra eliche singole, doppie, triple.

Qui i leptoni sostituirebbero le eliche singole. I mesoni quelle doppie e i barioni quelle triple. I quark sarebbero pezzi di elica ovvero componenti del filamento. E' possibile sostenere un tale punto di vista? I meccanismi di produzione delle particelle sarebbero simili a quelli della biologia.



## 7.5- Riproduzione e nascita

Un organismo vivente nasce rapidamente e vive a lungo.

Con questa frase intendiamo dire che di solito non succede che nascita e vita avvengano in tempi simili. Ad una nascita che richiede un certo tempo in genere segue una vita che dura assai più a lungo.

Cosa succede nel campo delle particelle elementari?

In fisica si constata e si spiega che molte particelle elementari che si producono per urto negli acceleratori “nascono per interazioni forti e decadono per interazioni deboli”.

Tirando in ballo la diversa intensità della forza nei due casi, viene giustificato alla fine il dato di fatto sperimentale, che è il seguente: esse per nascere ci mettono pochissimo, e poi vivono per un tempo lunghissimo.

Se questo non sbalordisce per un organismo vivente, per le particelle appare strano e la spiegazione la si trovò nel quark denominato s “strange” apportatore di stranezza (-1). Una particella strana si carica alla sua nascita di questa unità di stranezza, e poi ci mette molto tempo a sbarazzarsene.

Le particelle strane mostravano una ulteriore proprietà: nascevano a coppie.

La successiva regola, per giustificare la nascita di particelle a coppie, fu:

*“le interazioni forti conservano la stranezza”.*

Con ciò la interazione forte responsabile della nascita non poteva improvvisamente far comparire dal nulla da solo un quark s, ossia una unità 1 di stranezza. Per la conservazione della stranezza fra prima e dopo, la comparsa di un s a stranezza (-1) doveva avvenire assieme alla comparsa di un anti-s a stranezza (+1). La nascita avveniva quindi con la comparsa di una coppia (s con anti-s).

Per mettere a posto le cose la stranezza (-1), cioè il quark s, doveva poi andare a finire in una particella, e invece la stranezza (+1), il quark anti-s, in un'altra particella.

Ogni particella si caricava così della sua quantità di stranezza, della quale si sarebbe sbarazzata poi all'atto del suo decadimento o morte.

Tuttavia nasceva un problema.

Le particelle non morivano più a coppie. Ognuna moriva per conto suo per “interazione debole”.

Nella fase di decadimento per interazione debole ognuna delle due particelle avrebbe dovuto quindi necessariamente perdere la sua stranezza, senza alcuna contropartita.

Con ciò le interazioni deboli non avrebbero più conservato la stranezza.

Come si spiega?

A questo scopo si enunciò la seguente regola o constatazione che dir si voglia:

*“la stranezza non si conserva nelle interazioni deboli”.*

Tutto questo riguarda le particelle strane, che hanno dentro, nella loro composizione a quark, un quark s, oppure un anti s.

E tutto funziona perfettamente.

Le particelle strane nascono se nell'urto c'è molta energia. Se non c'è abbastanza energia non ce la fanno a nascere e nascono solo mesoni pi greco o pioni.

Se consideriamo ora questi mesoni pi greco o pioni, essi non hanno dentro alcun s o anti-s ma solo u, d e i rispettivi anti quark. Quindi non valgono per essi le regole delle particelle strane.

Tuttavia anche loro nascono rapidamente per interazione forte, anche loro hanno vita lunga e anche loro decadono per interazione debole.

Non essendo strani, non è necessario che la loro nascita sia accompagnata da una coppia di quark (s con anti-s), che infatti non ci sono. Però, tutte le volte che nascono, si constata che il processo di nascita è ancora accompagnato dalla comparsa di coppie di quark. Una coppia (u con anti-u). Oppure una coppia (d con anti-d). Oppure molte coppie di tal fatta, se nascono molti pioni.

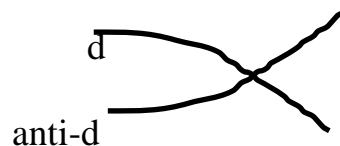
Proviamo a leggere il tutto in un'altra fantasiosa maniera.

La vita si propaga mediante replicazione su stampi.

Immaginiamo qualcosa di simile nelle particelle, con un esempio.

Associamo a una coppia qualunque, (s con anti.s) o (u con anti-d) eccetera, la immagine di una doppia elica. La doppia elica di un mesone.

Disegniamo questa doppia elica, senza nessuna pretesa di indovinare col disegno la forma geometrica vera. Esempio, riferiamoci a una coppia (d con anti-d):



Attribuiamo poi ad una singola elica, una qualunque di queste due, la proprietà di nastro-stampo sul quale cioè si replica obbligatoriamente la sua anti-elica.

Per costruire la replica serve materiale da costruzione.

Nella fisica delle alte energie la produzione di particelle avviene con processi di urto. L'urto mette a disposizione il materiale da costruzione, pura energia, puro campo elettromagnetico. Nell'urto, una delle due particelle in collisione libera momentaneamente un quark per esempio "d", che poi riassorbirà subito dopo. Oppure alternativamente esibisce all'esterno un quark "d". Potrebbe svolgere completamente il suo filamento in modo che si veda all'esterno, fra gli altri, un quark d.

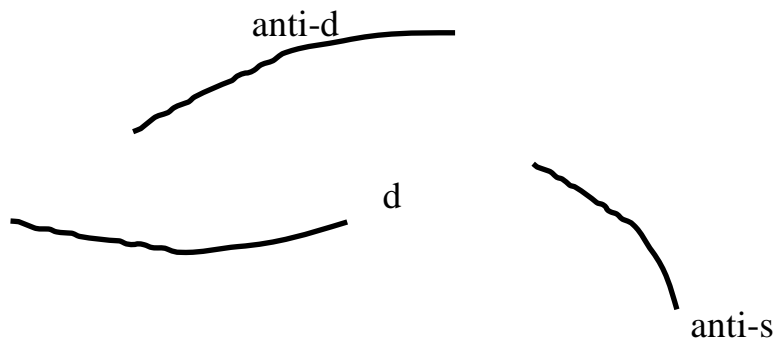
Immediatamente su esso si replica un anti-d.

In questa fase l'energia viene prelevata dal materiale circostante, mentre d sta agendo da stampo per imporre la forma dell'anti-d.

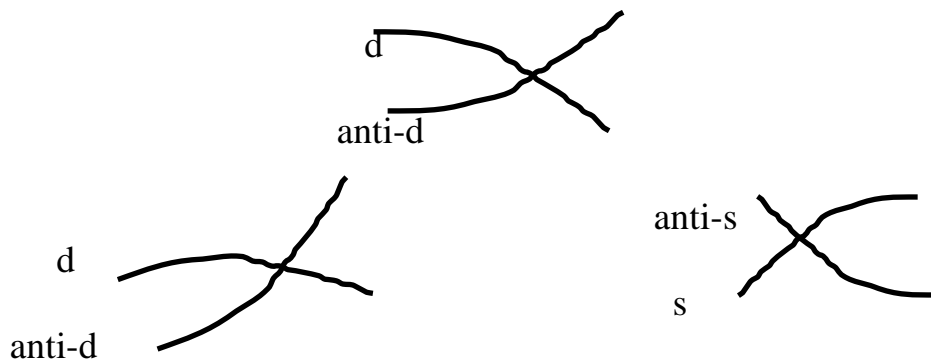
Se c'è molta energia a disposizione, sullo stampo d potrebbe formarsi più di un anti-d.

Sempre se c'è molta energia alcuni anti-d potrebbero energizzarsi dando luogo al loro equivalente energizzato anti-s.

Queste repliche si distaccano immediatamente dallo stampo e sono pronte ad agire a loro volta da stampi. Esempio:



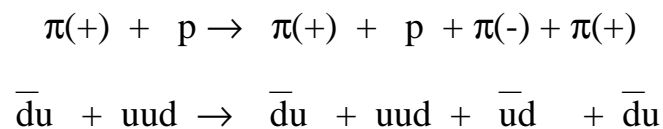
Ora su ogni anti-d si replica un d, su ogni anti-s si replica un s. La situazione finale vede la comparsa di coppie, obbligatoriamente di coppie, del tipo (d con anti-d) eccetera.



Queste coppie quark-antiquark potrebbero immediatamente disfarsi in radiazione elettromagnetica, cosa che per esempio fa il pione neutro, che è traducibile in (d con anti-d) ma vive appena un attimo. Oppure i singoli quark potrebbero ricomporsi dando luogo a particelle più stabili, pioni carichi o particelle strane.

In questo modo essi andrebbero a costituire i pezzi componenti queste varie particelle.

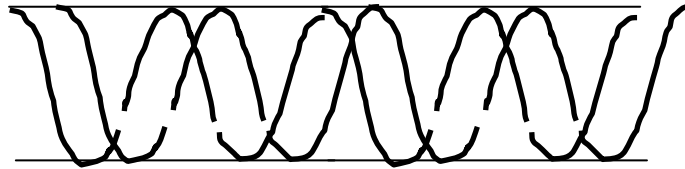
Un esempio di produzione di pioni in un urto ad alta energia:



Qui “nasce” una coppia (d con anti-d) che non c’era, e una coppia (u con anti-u) che non c’era.

Come si vede, in questo schema di riproduzione e nascita compaiono analogie con le forme della biologia e con le funzioni del DNA.

Ne esiste un'altra assai semplice ed evidente. E' una analogia a carattere geometrico. Tutti sanno che il DNA ha una configurazione a doppia elica. Assai meno reclamizzato è il fatto *che le due eliche sono a 120 gradi*. Ricompare qui questo strano e insistente motivo di eliche a 120 gradi che abbiamo più volte incontrato nei quark.

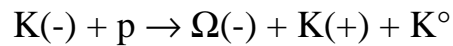


Naturalmente nulla di ciò dimostra qualcosa di vivente, nelle particelle, né vogliamo entrare qui in una discussione di che cosa sia "vita". La natura tuttavia ci mostra insistentemente forme che si ripropongono eguali a sé stesse su fattori di scala enormemente diversi. Quindi questo tipo di schema potrebbe avere una sua ragione. Esso si adatta bene a interpretare la produzione di mesoni pigrco o pioni che avviene negli acceleratori. La produzione di tanti pioni è prodotta da un urto ad alta energia fra un pione e un protone. Possiamo parlare di produzione di pioni o di *riproduzione* di pioni, facendo un parallelo con la riproduzione dei virus. Consideriamo uno scontro violento fra un pione e un protone. Immaginiamo il protone come una cellula, e il pione come un virus. Il pione, se non è "congelato", cioè se c'è abbastanza temperatura, o energia, entra nella cellula protone. Una volta entrato, apre la sua elica DNA sulla quale cominciano a replicarsi stampi. Nascono così una serie di pioni figli. A volte, se c'è molta energia, un pione attacca un protone ma non nascono solo pioni replicati. Nascono anche altre particelle. Quindi altre nascite di particelle richiedono una schema un po' più generale.

## 7.6- Altri meccanismi di riproduzione

Prendiamo in considerazione qualche esempio di nascita di particelle per interazione forte.

Nell'esempio seguente:



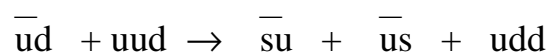
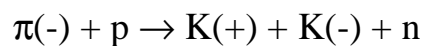
un mesone K urtando ad alta energia un protone produce altre particelle strane. Si riproducono mesoni K mentre il protone s'è momentaneamente eccitato mutandosi in una particella Omega (-), ma successivamente ricomparirà come protone.

Esaminiamo ciò che è accaduto in termini di quark:



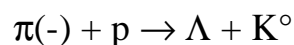
Facendo un bilancio fra prima e dopo, constatiamo che sono state prodotte in più due coppie (s con anti-s). I quark componenti si sono poi redistribuiti fra le particelle nate.

Complessivamente, comunque, ciò che è avvenuto è una riproduzione di mesoni K. Vediamo un altro caso



Qui si aggiunge una coppia (s con anti-s) che non c'era. Però si nota una cosa in più: il mesone pi greco non ha prodotto altri mesoni pi greco, ma mesoni K.

Un terzo caso è il seguente:

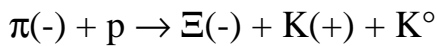
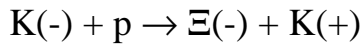


E' comparsa una coppia (s con anti-s) ed è sparita una coppia (u con anti-u). Possiamo anche dire che una coppia (s con anti-s) si è sostituita a una coppia (u con anti-u). Ma ancora una volta da un mesone pi greco si è prodotto un mesone K.



Abbiamo dunque un meccanismo più generale rispetto a quello riproduttivo descritto nel precedente paragrafo.

Altre reazioni le lasciamo per divertimento al lettore (nota: la  $\Xi(-)$  espressa in quark è dss):



Quindi riassumiamo:

Abbiamo ipotizzato che le particelle per così dire degne di esistere corrispondano alla condizione che i pezzi, i quark, si dispongano a realizzare un filamento chiuso o, con quest'ultima variante, doppie o triple eliche. Consideriamole organismi. Nella nascita di particelle per interazione forte, oltre alla pura e semplice replica di pezzi tramite uno stampo, assistiamo a meccanismi di sostituzione e mutazione.

*Possiamo dire che si creano ancora nuovi organismi, ma che contemplano la possibilità di sostituzioni e mutazioni?*

Fermiamoci qui con l'immaginazione.

Come dice Hestenes per terminare uno dei suoi articoli più fantasiosi [26]:

*"That's enough speculation for one paper!"*

## 7.7--Forme su forme

La natura sembra proporci un motivo ricorrente: la organizzazione di forme con mattoni stabili.

Ma cosa è stabile? Tutto sembra, in una certa misura, plasmabile.

Gli atomi sono mattoni stabili per la costruzione della materia, delle molecole.

Le molecole sono a loro volta stabili servendo da mattoni per costruzioni più complesse.

Ma le molecole sono stabili fino a una non troppo alta temperatura, altrimenti si sfanno.

Si disfano in atomi che, a quella temperatura, rimangono inalterati.

Consideriamo sinonimi la “temperatura” o la quantità di energia in gioco nell’ambiente.

Ci accorgiamo allora che gli atomi restano inalterati fino a che non si arriva ad energie (temperature) tali da scomporli. A questo punto si separano elettroni, stabili, e nuclei atomici, stabili.

Ma il nucleo atomico si *riteneva* stabile fino a che s’è visto che, con più alte energie, si frantuma in pezzi stabili.

E così via.

Un esame un po’ più accurato mostra che tutti questi mattoni si comportano similmente in tre regioni tipiche di stato:

ad una temperatura che per essi è bassa, sono stabili, congelati, surgelati, ibernati;

in una regione intermedia, partecipano a reazioni, vivono, si combinano;

a una temperatura che per essi è alta, bruciano, muoiono, si disfano.

Quando si disfano, restano i loro mattoni componenti.

Questi mattoni componenti sono però stabili perché la temperatura è ancora talmente bassa, *per loro*, che essi sono ibernati.

Continuando a crescere la temperatura, riprende il ciclo.

Oppure al contrario, se la temperatura non è eccessivamente alta, ci appaiono delle forme che sembrano essere rigide, stabili, cristallizzate. Schroedinger nel suo storico libro “Cosa è la vita” intravide in questa stabilità di forma la trasmissione della informazione genetica, che egli attribuì ad un “cristallo aperiodico” anticipando la scoperta del DNA.

Ad altissime ed inimmaginabili energie potrebbero invece disfarsi anche gli ultimi mattoni che ci appaiono inesorabilmente stabili ed eterni, gli elettroni.

Cosa resterebbe dopo? Forse puro campo elettromagnetico.

Siamo dunque di fronte a un quadro fantasioso ma basato sui fatti così come attualmente li conosciamo.

Alle alte temperature (energie) dell’universo nel suo stato iniziale, si sono formate *dalla luce* le prime particelle elementari.

Successivamente, e poi anche alle temperature più basse delle stelle, si sono formati e si formano i nuclei degli atomi.

Alle temperature più basse dei pianeti si formano le molecole, e così via.

Ogni forma costituisce un “building block” o forma di base per la forma successiva. Fintanto che la sua temperatura di formazione non viene più raggiunta essa (forma di base) può rimanere stabile.

Cosa c’era all’inizio?

Qual è la sostanza di cui sono fatte tutte le cose?

Alcuni sostengono che alle elevatissime temperature iniziali ci fosse un denso e indistinto “brodo” di quark e di elettroni, neutrini e fotoni. Ma prima ancora? I fotoni sono campo elettromagnetico. Se ammettiamo che anche quark elettroni e neutrini siano fatti di campo elettromagnetico, tutto si è formato dal campo elettromagnetico e tutto è *fatto* di campo elettromagnetico.

La materia si organizza in forme.

Per lungo tempo le forme più elementari di tutte sono state identificate in palline, punti, sferette. Per certi versi, se non ci guardiamo dentro, gli atomi sono puntolini. Anche un pianeta o una stella è un puntolino, se lo guardiamo da lontano. La biologia ha cominciato a scoprire eliche. Esse, in realtà, sono eliche per modo di dire. La biologia sa che queste specie di scale a chiocciola hanno una substruttura. Sono fabbricate a loro volta con dei mattoni che possiamo rappresentare con dei puntolini. Ma sono veramente dei puntolini? Un moderno trattato di biologia molecolare ci mostra una infinità di disegni di eliche che compongono le proteine. Scendiamo a livello inferiore ed arriviamo fino all’atomo e poi all’elettrone. Seguendo Hestenes, continuiamo a trovare eliche fino all’elettrone. Le particelle composte più comuni, in particolare il protone e i mesoni pigreco, sono eliche attorcigliate. Le eliche costituenti sono poche, bastano elettroni e neutrini, con le rispettive antiparticelle ove occorra.

Eliche di che cosa?

Cos’è l’elettrone? Per Hestenes, campo elettromagnetico. C’è in verità nel modello di Hestenes una carica puntiforme, un punto, privo di massa, che giustifica la carica  $q=e$ . Abbiamo qui presentato una ipotesi che fa a meno anche di questo punto, la carica elettrica è giustificata anche lei da puro campo elettromagnetico. Tuttavia anche per Hestenes, in fondo, questa fantomatica carica puntiforme non è una ulteriore cosa rispetto al campo elettromagnetico. C’è difatti [5]: “...una specie di *dualità onda corpuscolo elettromagnetica* nella quale l’elettrone è contemporaneamente onda *e anche* particella”. Il punto sarebbe dunque nient’altro che un altro modo di vedere l’onda. Ho cercato di spiegare la cosa nel paragrafo su onde e corpuscoli.

Pervenuti dunque ad una costituzione elettromagnetica per l’elettrone e poi anche per il protone, fatto esattamente di due positroni e un elettrone....tutta la materia sarebbe costituita di campo elettromagnetico.

Hestenes non fa mai esplicitamente questa affermazione, almeno per quanto mi risulta.

Ma essa è *implicita* nel suo modello.

La mia personale impressione è che queste affermazioni siano pericolose, si rischiano critiche e polemiche.

Schroedinger, nonostante il fatto che...fosse Schroedinger, è stato sottoposto a sberleffi per le sue idee che tutto fosse fatto di onde. Per di più si rischia di essere male interpretati. Probabilmente, anzi sicuramente, Schroedinger prospettava ipotesi scientifiche assai più articolate della semplice affermazione “tutto è fatto di onde”, ma queste diventano poi facili formule di presa in giro.

Una situazione simile si prospetta per la frase “tutto è campo elettromagnetico” o peggio ancora “*tutto è luce*”.

E’ però una ipotesi da indagare.

Potrebbero servire chissà quali nuove equazioni. Potrebbe nascere una qualche nuova e più completa visione del campo elettromagnetico.

E poi cos’è il campo elettromagnetico? In fondo non sappiamo *realmente* cosa sia.

Un mio professore di fisica diceva: “la corrente è quella cosa che si misura con l’amperometro”. Con ciò egli intendeva che una grandezza fisica è definita dal modo con cui può essere misurata, cioè la fisica, in ultima analisi, dice di una cosa *come la si misura* ma la fisica non pretende di dire *cosa essa è*.

Quindi può darsi, anzi è sicuro che nel futuro capiremo meglio il campo elettromagnetico.

Certo, per quanto possiamo capire oggi, un po’ per quanto sappiamo e un po’ lavorando di fantasia, se si assodasse che tutto è campo elettromagnetico ci sarebbero conseguenze... assai imbarazzanti. La materia perderebbe la sua importanza, il suo ruolo centrale.

Si verificherebbe quella che Schroedinger riteneva una predominanza della forma sulla materia.

E una forma è plasmabile.

Come oggi si modula un’onda elettromagnetica per creare un’immagine televisiva, così si potrebbe in teoria plasmare, modulare il campo elettromagnetico per produrre materia. Plasmare oggetti, e nella immaginazione persino... esseri viventi, diventerebbe un fatto che *qualcuno* potrebbe essere in grado di fare.

Un esempio? Forse abbiamo ricevuto o riceviamo messaggi siffatti. Questi messaggi potrebbero cioè essere molecole o molecole biologiche complesse o nastri di informazione genetica, non saprei.

Quel che è certo è che a me sembra che la “Seti” (Search...etc.), ricerca di civiltà extraterrestri mediante radiotelescopi e andando a caccia di segnali radio codificati e modulati sia...non tanto, io direi, una mancanza di saggezza, quanto una mancanza... di senso dell’umorismo.

Mi viene sempre in mente questo esempio:

in una galassia lontana lontana.... una civiltà evoluta ha raggiunto, supponiamo, il livello di evoluzione che gli ha fatto scoprire il tamburo.

Pertanto si mette alla ricerca di altre civiltà nell’universo, mediante grosse antenne che cercano di ascoltare tamburi. Ovviamente a noi la cosa ci fa sorridere, perché noi useremmo segnali elettromagnetici. Ma essi non lo fanno, perché confondono il tamburo come il massimo livello di mezzo tecnico per la trasmissione di informazioni.

Esattamente nello stesso modo, con la stessa ingenuità, noi cerchiamo....segnali elettromagnetici modulati.

Ma supponiamo che tutto, materia compresa, sia campo elettromagnetico modulato, o qualcosa di simile a quello che noi chiamiamo campo elettromagnetico, cioè una sorta di vibrazione tridimensionale modulata, e che qualcuno .... sappia modulare.

(nb: “en passant” quel qualcuno che sa modulare, secondo i pensatori Veda e anche secondo Erwin Schroedinger potremmo essere anche noi stessi, perché noi siamo quello, secondo la massima Veda: ”TAT TVAM ASI”, sanscrito, in cui si rilegge THAT THOU ARE - tu sei quello- o meglio “**QUELLO- TU- SEI**”).

In questo caso il massimo livello di tecnologia che essi si immaginerebbero, per verificare se ci siano altri in ascolto, potrebbe consistere....nell’invio di questi oggetti, o segnali tridimensionali modulati, se vogliamo chiamarli così.

La quantità di informazione immagazzinata sarebbe potenzialmente assai maggiore di un qualsivoglia “Bip Bip”.

Stante le basse energie di legame di questi oggetti, un buon modo per preservarli durante il viaggio sarebbe di evitare loro ambienti con particelle o fotoni ad alta energia, cioè usare un ambiente a bassa temperatura, cioè usare... una ghiacciaia protetta.. cioè... le comete come buon contenitore possibile per l’invio. In effetti noi di roba così ne riceviamo una caterva ma nessuno, per così dire, se la fila.

Sono idee, per esempio, di Fred Hoyle, ma su questo non voglio entrare.

Quel che dico è che certamente non possiamo confondere le nostre attuali capacità di modulazione con il “top” possibile da parte di altri, questo per il semplice fatto che anni fa avremmo pensato al Morse, e poi alla Radio, e poi alla Televisione e poi ai codici coerenti polifase, e poi e poi e poi.

Ecco come la riconduzione di tutti noi ad un’unica sostanza scatenerrebbe dibattiti a non finire, tipo questo. Si dovrebbe riconsiderare molto della nostra filosofia, delle nostre religioni e della nostra visione del mondo.

## 8-CONCLUSIONI

Come dice Bertrand Russel, se non so spiegare come fa la corrente elettrica a scorrere in un filo, e poi mi invento una serie di diavoletti dentro al filo che spingono gli elettroni, non ho fatto molti passi avanti, perché poi devo spiegare i diavoletti.

Come dire che se per spiegare una cosa strana mi invento una cosa altrettanto strana, non ho fatto in realtà molti progressi.

Diverso è se una ipotesi sembra poter potenzialmente interpretare molte cose. Questa parrebbe la situazione attuale riguardo al modello elettromagnetico che abbiamo prospettato per l'elettrone.

E poi abbiamo visto che da questo scaturiscono altre spiegazioni del tutto non cercate, o inattese. Nascono altre plausibili, o quantomeno affascinanti prospettive, quali quella di una struttura di un mondo subnucleare rassomigliante alla biologia.

Tuttavia dice David Hestenes in altra occasione [25]:

*“For many years I mulled over(.....). I was reluctant to publish my ideas, however, because the supporting arguments were mainly qualitative, and physics tradition demands a quantitative formulation which can be subjected to experimental test”.*

Anche nel mio caso non esiste per la massima parte delle cose che ho scritto una formulazione quantitativa, come si richiederebbe in fisica o in ingegneria.

Per questo sono stato a lungo incerto se scrivere un libro. Per questo ho parlato di indizi. Su Internet c'è una marea di entusiastiche teorie su un “Universo elettromagnetico vibrante”, e cose simili. Ho cercato di non rifarmi ad esse. Si tratta però di idee che agitano, in modo serio, anche la scienza più seria.

Diciamo *alcuni* scienziati.

Essi ne parlano poco e malvolentieri. Io ho cercato di raccontare qualcosa di queste cose, con il condimento di qualche idea personale.

Cosa manca?

Manca quello che mancava all'inizio del libro.

L'elettrone.

*“You know, it would be sufficient to really understand the electron” –Albert Einstein.*

## 9-APPENDICI

### 9.1 - Onde e corpuscoli

Come si fa a *vedere* un'onda elettromagnetica? E una volta che si riuscisse a guardarla, come verrebbe *vista*?

La risposta a tutti i problemi posti dal dualismo onda corpuscolo sta qui.

E la risposta forse è facile: si vedrebbero *punti* cioè corpuscoli.

Con ciò, potremmo dire, il paragrafo dal titolo “onde e corpuscoli” è terminato.

Ma dopo questo inizio volutamente provocatorio dobbiamo dire qualcosa di più.

Quale è il problema?

Una particella si comporta a volte come tale e a volte come onda. In che senso? Ci sono montagne di scritti in proposito, è classico l'esempio “delle due fenditure”, ma in sostanza succede questo: supponiamo per esempio di esaminare il comportamento di un fascio di elettroni. Ci attrezziamo con tutti gli strumenti pratici e teorici che la fisica ci mette a disposizione e scopriamo d'avere davanti niente di più che chiarissime e incontrovertibili *onde*. Organizziamo ora un altro opportuno esperimento, di altro tipo, sempre con gli stessi elettroni. Scopriamo in modo incontrovertibile che questi sono palline che viaggiano, *corpuscoli*.

Questo fatto impatta contro il senso comune.

C'è chi ritiene ormai superata la questione. C'è anche chi ritiene superato il senso comune, nel senso che non si possa, nell'ambito subatomico, ragionare con l'usuale senso comune.

Sta di fatto che, come dice Schroedinger [4], “..tanto nella immagine corpuscolare che in quella ondulatoria c'è un contenuto di verità, al quale non possiamo rinunciare. Ma non sappiamo come fondere insieme queste due verità”. Niels Bohr e discepoli inventarono il concetto di complementarità, ma sempre Schroedinger [4] dice:

*Devo confessare che non lo comprendo. Per me si tratta di un'evasione. (...) Infatti si finisce per ammettere il fatto che abbiamo due teorie, due immagini della materia che non si accordano, di modo che qualche volta dobbiamo far uso dell'una, qualche volta dell'altra. Una volta (...) quando si verificava un tale fatto, si concludeva (...) che la ricerca non era ancora finita. Si è inventata ora la parola “complementarità” ( ). La parola “complementarità” mi fa sempre pensare alla frase di Goethe: “Perché proprio dove mancano i concetti, si presenta al momento giusto una parola”*

C'è un indizio, anche se non tutti i fisici concordano [7]:

*il solo momento in cui le particelle si manifestano come corpuscoli è quando le guardiamo.*

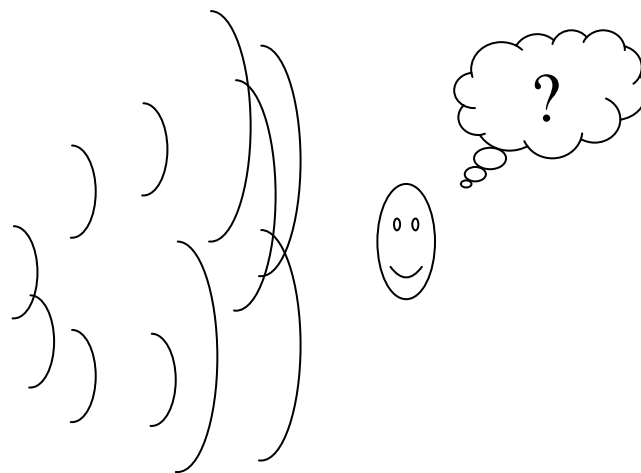
Per esempio gli esperimenti inducono a ritenere che quando l'elettrone non viene osservato si comporti come un'onda. Si vede un corpuscolo quando lo si osserva.

Ci può aiutare a chiarire ancora una volta il radar: la trasformata di Fourier e la progettazione dell'aereo invisibile, lo "stealth".

Cominciamo con una riflessione che è quella iniziale. Come si fa a *vedere* un'onda elettromagnetica? E una volta che si riuscisse a guardarla, come verrebbe *vista*?

Immaginiamo di essere in un campo di vibrazioni; per esempio di essere immersi nel campo elettromagnetico irradiato da uno o più punti, cariche elettriche che oscillano, oppure nel campo elettromagnetico - luce che proviene da una qualche sorgente emittente. Vibrazioni. Luce. Un sistema esteso di onde.

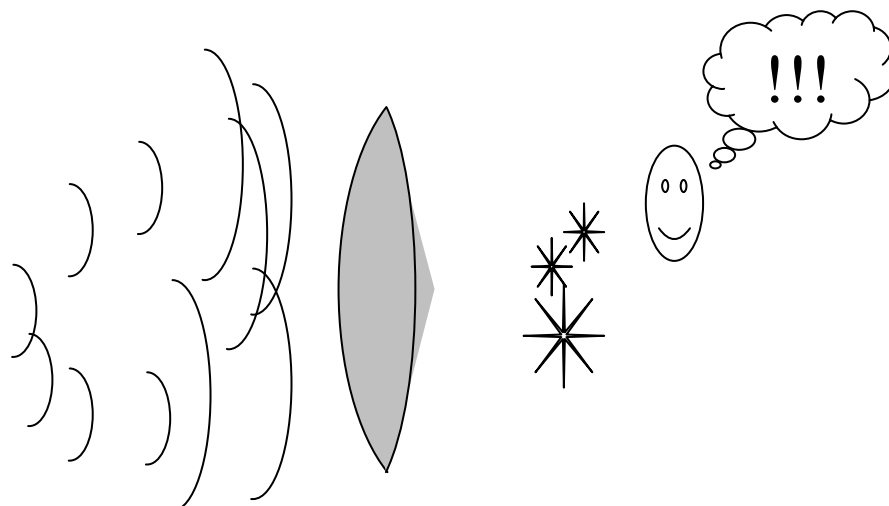
Immaginiamo di esser immersi in questo campo. Possiamo anche pensare di percepire questa vibrazione, possiamo immaginare di avvertire del calore sulla pelle, ma non possiamo in nessun modo, con questa immersione di noi stessi nel campo, *vedere* qualcosa.



Per vedere qualcosa, abbiamo bisogno dei nostri occhi.

Abbiamo bisogno di una lente.

Questa lente potrà essere una lente d'ingrandimento se le sorgenti sono sul tavolo di fronte a noi. Potrà essere un cannocchiale se le sorgenti sono lontane. Potrà essere l'obiettivo di una macchina fotografica. Potrà essere l'occhio stesso, ma in questo caso è appunto l'occhio che con il suo cristallino fa da lente. Con la lente vediamo finalmente dei punti, quelli che emettevano il campo.





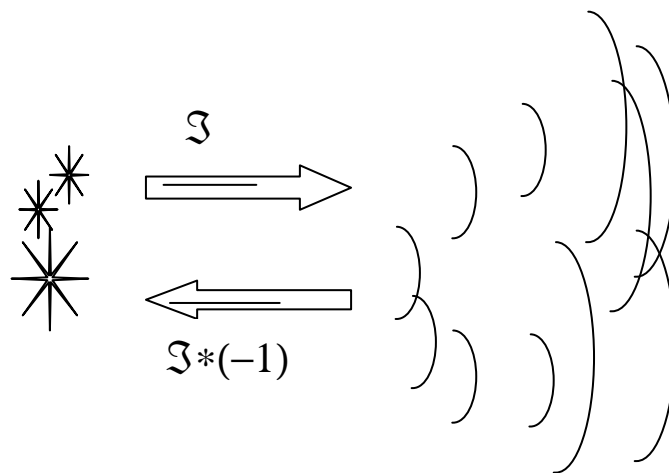
Si forma così l'immagine delle sorgenti responsabili del campo. Questi punti si formano su un piano – immagine fittizio, nel nostro cervello, oppure sulla pellicola fotografica, ma rapidamente il nostro cervello li colloca là dove essi sono veramente e infine noi diciamo: “Ah! Eccoli. Erano lì”.

La operazione che è stata eseguita dalla lente o dall'occhio è una operazione matematica che si chiama “antitrasformata bidimensionale di Fourier”. Essa fa passare dal campo sul piano della lente ai punti su un piano –immagine. Ma questa operazione matematica è anche espressione di un più profondo fatto fisico.

*Le sorgenti di un campo elettromagnetico generano il campo attraverso una operazione di “trasformata di Fourier”  $\mathcal{F}$ .*

Espressa con parole brutalmente semplici essa dice che la somma di tutte le vibrazioni provenienti dai punti sorgente genera il campo.

Esiste la operazione inversa, “antitrasformata di Fourier” che indichiamo con  $\mathcal{F}^*(-1)$ . Si chiama inversa perché le due, applicate una dietro l'altra, fanno ritornare al punto di partenza. Equivalgono a non fare nulla. Essa dice che la somma di tutte le vibrazioni del campo genera i punti sorgente.



Il legame fisico fra campo e sorgenti è dato da queste operazioni matematiche.

(Nota: per chi avesse dei dubbi sulla operazione inversa  $\mathcal{F}^*(-1)$ , si può fare il seguente ragionamento. **Poiché** con  $\mathcal{F}$  e  $\mathcal{F}^*(-1)$  applicate in sequenza non si fa nulla, e **siccome** mediante  $\mathcal{F}$  si passa dalle sorgenti al campo, resta dimostrato che con la operazione successiva  $\mathcal{F}^*(-1)$  si ritorna dal campo alle sorgenti).

Forse dunque è questo il legame che fonde insieme queste due verità.

Forse sono i nostri processi di percezione che ci confondono e le particelle non sono *onde o corpuscoli* ma sono *onde e corpuscoli*.

Difatti sorgenti e campo viaggiano evidentemente di conserva. Essi non sono entità separabili. Quindi non abbiamo nessun bisogno di fondere insieme queste due verità, esse sono già fuse. Siamo poi noi, attraverso un processo di percezione parziale, che, come nell'esempio della lente, ci accorgiamo di una parte di questa unica verità.

Possiamo ora fare un ulteriore passo.

Se in una situazione statica vediamo punti, in una situazione in moto vedremo punti in movimento, che descrivono linee. Un campo elettromagnetico viene così collegato ad una linea percorsa da una carica elettrica puntiforme, un circuito. Nel modello dell'elettrone abbiamo più volte parlato di circuito. Abbiamo anche affermato di poter parlare, come sinonimo, di campo in rotazione. Ora abbiamo capito in che senso possiamo ritenerli sinonimi. Il tentativo di visualizzare il campo, attraverso una lente fisica o ipotetica, ci mostrerebbe un punto in moto, ovvero un circuito.

Hestenes fa un passo simile e anzi possiamo ora apprezzare le sottili differenze e somiglianze fra i due modelli. Noi abbiamo ipotizzato una corrente spaziale, un campo elettromagnetico oscillante, che giustifica fra le altre cose anche la carica elettrica. Possiamo chiamarlo un campo carico. Hestenes ipotizza un campo elettromagnetico oscillante che giustifica solo la massa e lo spin, non giustifica di per sé la carica elettrica.

“This oscillating field is a kind of electromagnetic De Broglie wave, so let us adopt a term of De Broglie's and call it the *pilot wave* of the electron. We may think of the complete electron as a point particle with a pilot wave attached to it. Thus, the *zbw* implies a kind of *electromagnetic wave particle duality* where the electron is both wave *and* particle” [5].

Dove sta la carica elettrica? Sta quindi secondo Hestenes nel punto, nella “point particle” priva di massa, in moto su un cerchio. Non essendo stata giustificata altrimenti la carica elettrica, siamo costretti ad affibbiare “e”, carica elettrica dell'elettrone, al punto in movimento, come il numero scritto sulla maglia di un ciclista.

Fuori tutto, il risultato finale dei due modelli diventa simile.

Ma esaminiamo ora un caso concreto, in cui la visione di un'onda fa vedere punti.

## 9.2- Onde, corpuscoli e aerei “stealth”

“Guardando” un campo elettromagnetico si vedono in modo suggestivo una serie di punti.

Queste sono possibilità che la tecnologia radar ha reso possibili solo recentemente. Nella progettazione degli aerei “stealth”, il cosiddetto aereo invisibile al radar, si cerca di rendere minima e se si potesse anche nulla la “radar cross section”. Questo è il significato del termine “invisibile”. Vediamo come l’aereo è visibile, cioè in che modo viene visto.

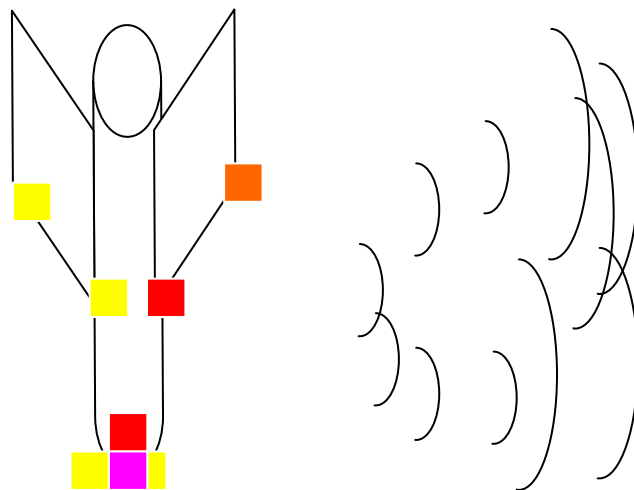
La tecnica e la tecnologia qui hanno fatto passi da gigante. Molti dei progressi che sono stati fatti, anzi tutti, sono avvenuti sotto la spinta della ricerca in campo militare. Dunque molte attività sono segrete.

Ma qualcosa è ampiamente di dominio pubblico.

Diciamo che al vecchio concetto che il bersaglio riflette il segnale radar è stato possibile sostituire un concetto più sofisticato. Cosa vede in dettaglio il radar?

Investiamo il bersaglio con un opportuno segnale radar. Il bersaglio riflette e genera un campo elettromagnetico. Guardiamo questo campo elettromagnetico con una grande lente elettronica, che esegue la trasformata di Fourier. In pratica si tratta di un costoso e complesso marchingegno che ha a che fare con una antenna e con del software e, per chi sa di che si tratta, lavora con qualcosa che rassomiglia agli ologrammi. Ma possiamo immaginare una grande lente, che però invece di focalizzare la luce focalizza il campo elettromagnetico. Cosa si vede? Si vedono punti, “hot spots”, punti caldi.

Rappresentiamoli a colori secondo la loro intensità.



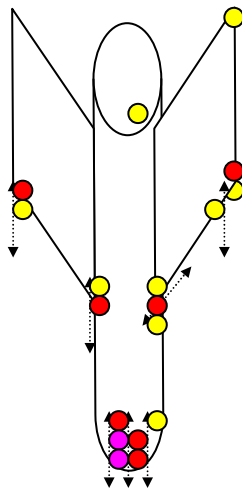
Questi punti sono piazzati in certi posti.

Sono grossi, poniamo, mezzo metro, mentre il bersaglio è di qualche decina di metri.

Se si aumenta la risoluzione aumenta il dettaglio.

I punti diventano di dieci centimetri, un centimetro.

E sono sempre di più. Ogni punto si mostra a sua volta formato di punti più piccoli.



Chi sono questi punti?

Tanto per cominciare non venga in mente di collegarli...agli elettroni.

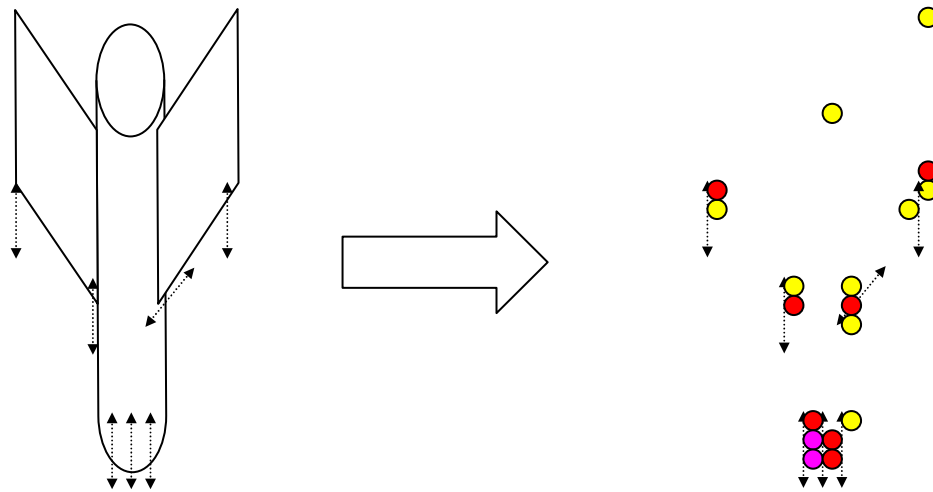
Per arrivare a “vedere gli elettroni” ammesso e non concesso che fosse possibile, servirebbero risoluzioni milioni e milioni e milioni di volte superiori.

Essi sono a tutti gli effetti i responsabili del segnale riflesso dal bersaglio. Sono per così dire un “mapping” delle correnti sul bersaglio.

E' importante rendersi conto che essi hanno a che fare non tanto con il bersaglio inteso come corpo materiale. Non sono per così dire legati ad esso, lo sono solo indirettamente. Sono legati invece al fenomeno elettrico che si instaura sul bersaglio. Se si potesse idealmente togliere il bersaglio in quanto corpo materiale lasciando questo fenomeno elettrico (di correnti, di cariche oscillanti) sia i punti che il campo irradiato resterebbero tali e quali.

Quello che è certo è che dal punto di vista del segnale radar riflesso gli “hot spots” e il campo riflesso sono la medesima cosa e paradossalmente potremmo invece dire che il corpo fisico del bersaglio non interviene. Ovviamente interviene per modificare (e eventualmente ridurre) tutti questi punti, la loro posizione e la loro intensità. Ma il tipo di intervento è così fatto, che il corpo fisico del bersaglio **sostiene** il sistema di correnti che poi determinano i punti.

Cosa significa questo? Significa che noi stiamo vedendo queste correnti. Stiamo vedendo una entità elettromagnetica, non più l'aereo.



Abbiamo quindi un legame diretto fra punti e campo. Fra “hot spots” e campo; e punti e campo si equivalgono.

Riassumendo:

il campo che circonda un oggetto complesso risulta equivalente a vari punti, e le due entità punti e campo viaggiano, per così dire, di conserva.

Il legame è costituito da una “trasformata di Fourier” (diretta oppure inversa) che fa passare dai punti al campo o dal campo ai punti.

La trasformata di Fourier espressa a parole dice che la somma di tutte le vibrazioni provenienti dai punti è il campo, e la somma di tutte le vibrazioni del campo si concentra nei punti.

Naturalmente, o per meglio dire significativamente, non si può alterare nulla negli uni che non alteri l'altro, e viceversa.

E' interessante che ogni punto non ha una sua vita propria. Non si può...cancellare un punto, o ridurlo di intensità, agendo *su di lui*. Per modificare un punto bisogna agire sull'intero campo, in pratica intervenire sull'intera forma del bersaglio, o quantomeno sulla forma lì nei pressi. Naturalmente esistono oggetti semplici con assai pochi punti. Un caso con pochissimi punti, anzi uno solo, lo si ottiene illuminando un “tip”, la estremità terminale di un lunghissimo cono di cui non si veda la fine.



Invece contrariamente a quanto si potrebbe pensare, ciò non accade per una sferetta. Una sferetta, guardata ad altissima risoluzione, mostra cose più complicate. Possiamo dire che gli hot spots *sono il campo elettromagnetico* nel senso del dualismo onda corpuscolo? Lascio le deduzioni alla fantasia del lettore.

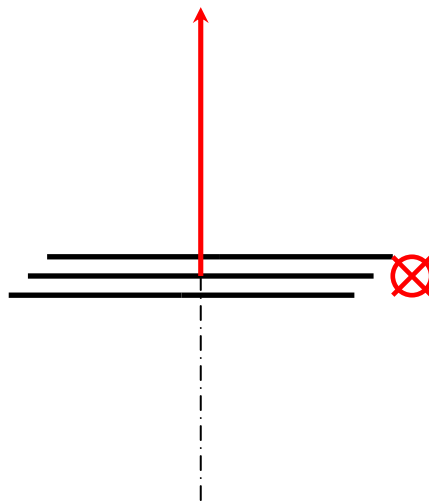
### 9.3- Quark e macchine elettriche.

Esaminiamo l'esempio del campo (magnetico) rotante che si adopera nelle macchine elettriche.

Lo si può produrre con tre correnti sfasate di 120 gradi nel tempo, immesse in avvolgimenti messi a 120 gradi fra loro nello spazio.

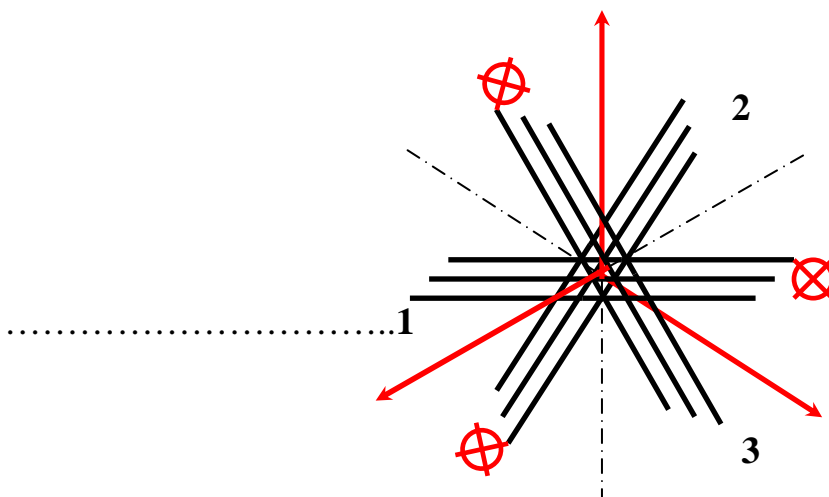
Il funzionamento viene spiegato nei libri elementari di elettrotecnica nel modo seguente [37].

Una bobina percorsa da una corrente  $I$  generi un campo magnetico, diretto secondo l'asse, e il cui valore indicheremo con  $H$ .



Il verso del campo  $H$  dipende dal verso di circolazione della corrente nella bobina. Nella figura la freccia è il campo magnetico e la crocetta rossa indica il verso di circolazione della corrente nella bobina.

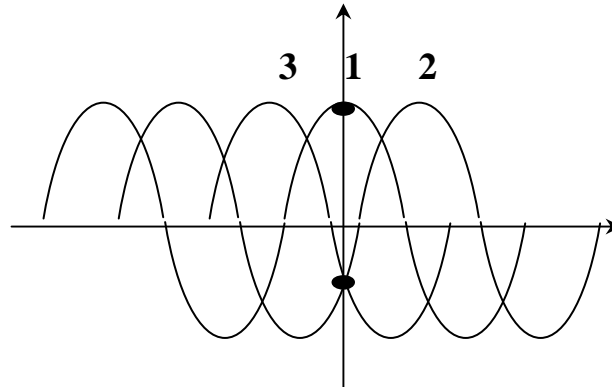
Messe tre bobine a 120 gradi fra loro, ognuna si comporterà nel medesimo modo. Ognuna genera il suo proprio campo magnetico  $H$  diretto secondo il proprio asse.



Notare per inciso che in queste condizioni il campo risultante dalla somma dei tre campi magnetici sarebbe zero.

Tutto questo se ogni bobina è attraversata dalla medesima corrente  $I$ .

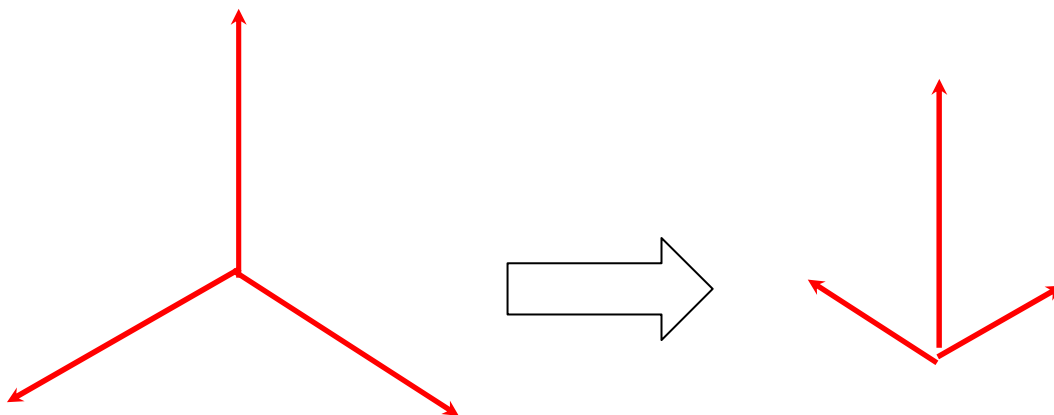
Ma supponiamo invece che le bobine siano percorse da tre correnti sfasate di 120 gradi nel tempo, la corrente 1 nella bobina 1, la corrente 2 nella bobina 2 e la 3 in 3. Queste correnti sono indicate nella figura seguente.



Consideriamo l'istante in cui la corrente nella bobina 1 ha il suo valore massimo  $I$ .

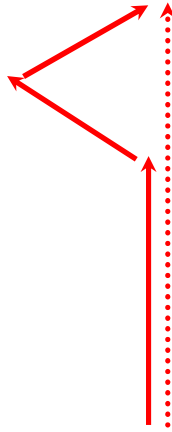
Nello stesso istante le correnti in 2 e 3 valgono la metà, e sono negative.

Allora i campi prodotti dalle bobine 2 e 3 varranno la metà e saranno negativi, quindi opposti a prima.



Il campo risultante dalla somma di questi tre risulta, a conti fatti, non più  $H$  bensì  $\frac{3}{2}H$ .





Si può dimostrare che negli istanti successivi, mentre le tre correnti oscillano, il campo ruota.

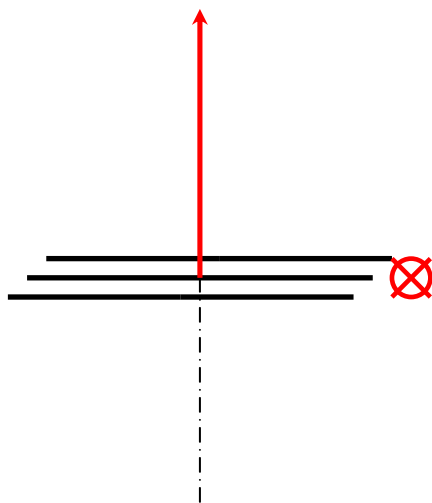
Questo modo di ottenere un campo rotante è stato inventato dall'italiano Galileo Ferraris ed ha avuto varie applicazioni nelle macchine elettriche.

Ma quello che ora vogliamo notare è un'altra cosa.

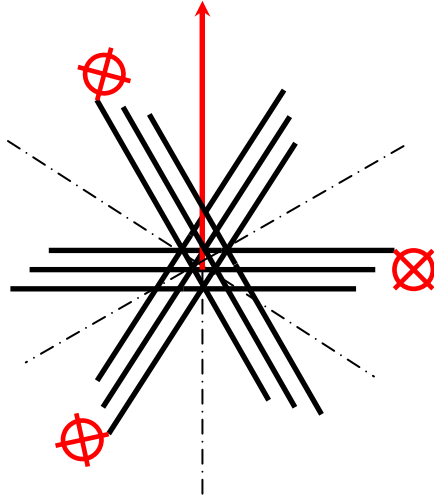
Vogliamo porre l'attenzione su questo valore  $3/2 H$ . Se nell'istante considerato la corrente fosse stata  $2/3 I$  invece di  $I$  (e le altre due la metà di questa e negative, vale a dire  $-1/3 I$ ), una breve riflessione ci mostra che il campo risultante non avrebbe avuto il valore  $3/2 H$ ., bensì  $H$ .

Possiamo riassumere nel modo seguente.

**Un campo  $H$  si ottiene in questa struttura con una corrente di valore  $I$**



**Lo stesso campo H si ottiene in quest'altra struttura a 120 gradi con tre correnti di valore  $+2/3 I$ ,  $-1/3 I$  e  $-1/3 I$ .**



In conclusione, compaiono correnti e quindi anche cariche elettriche nei rapporti 1,  $2/3$  e  $1/3$ . Sono gli strani valori di carica elettrica attribuiti ai quark.

Ripassiamo la situazione.

Nell'elettrone abbiamo ipotizzato un campo elettromagnetico e intimamente associata ad esso una carica elettrica  $q=e$ . In una particella carica composta di quark c'è ancora complessivamente una carica  $q=e$ , ma si ipotizza che esistano cariche interne, che nessuno ha mai visto libere, che assumono valori frazionari  $+2/3$  e  $-1/3$ . Ora con l'esempio delle macchine elettriche vediamo che lo stesso fenomeno elettromagnetico di campo può essere prodotto in due modi. O con una corrente di valore  $I$  o con correnti che assumono valore frazionario  $2/3 I$  o  $-1/3 I$ , questo con avvolgimenti a 120 gradi.

Questo dimostra qualcosa? In verità abbiamo solo una serie di giochetti, di analogie fra correnti, avvolgimenti a 120 gradi e cariche dei quark. Però sono analogie molto sospette.

Potremmo quantomeno trarne l'ipotesi che i 120 gradi che compaiono negli schemi astratti dei quark abbiano un corrispettivo fisico reale.

## 10-NOTE

[n1]

Tutte le proprietà citate sono semplicemente proprietà matematiche di quelle che sono dette “funzioni analitiche bidimensionali”. Le funzioni analitiche sono funzioni matematicamente definite dalle cosiddette condizioni di Cauchy Riemann.

Le condizioni di Cauchy Riemann sinteticamente si scrivono:

$$\partial^* f = 0.$$

Soprattutto con i lavori di Hestenes e collaboratori si è messo bene in evidenza che le equazioni di Maxwell altro non sono che le condizioni da Cauchy Riemann, scritte stavolta in quattro dimensioni, spazio e tempo. Imponendo a un bivettore  $F$  di essere una funzione analitica, si ottengono in un sol colpo le equazioni di Maxwell.

Due volumi scritti da Maxwell si riassumono nella breve ma sibillina espressione:

$$\partial^* F = 0.$$

[n2]

Per semplificare al massimo possiamo mettere a confronto la formula dell'energia di una particella, secondo la teoria della relatività, con la formula della velocità di propagazione in guida. L'energia di una particella è:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

La velocità di propagazione in guida vale:

$$V = c \sqrt{1 - \frac{f_c^2}{f^2}}$$

dove  $f_c$  è la frequenza di taglio. Si noti che la formula vale indifferentemente sia per i modi TE che per i modi TM.

Identificando la energia a riposo  $mc^2$  con la frequenza di taglio  $f_c$  e la frequenza  $f$  con l'energia  $E$  le due formule coincidono. Difatti ricavando  $f$  dalla seconda si ottiene con qualche passaggio:

$$f = \frac{f_c}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

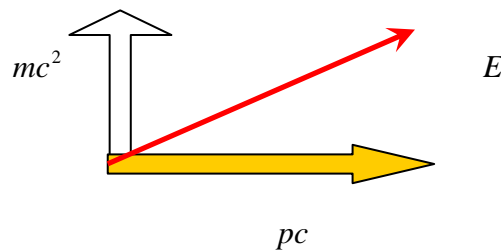
Possiamo anche dare una rappresentazione visiva di ciò che accade. In meccanica relativistica l'impulso, che per basse velocità è  $p \cong mV$ , vale:

$$p = \frac{EV}{c^2}$$

Da qui con qualche passaggio la formula dell'energia si riscrive:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

La formula, scritta così, interpreta chiaramente le relazioni grafiche riportate nel testo. L'energia totale è la ipotenusa di un triangolo rettangolo. La parte a riposo  $mc^2$  e la parte dovuta al moto  $pc$  sono i cateti. La formula  $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$  è il teorema di Pitagora.



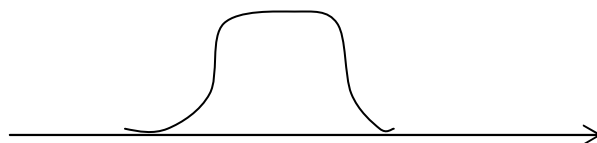
[n3]

Calcoli ferro da stiro.

Consideriamo un impulso di corrente  $I$  di durata  $T$ . Associamo più o meno arbitrariamente alla durata  $T$  una frequenza  $\nu$  eguale a  $1/T$ . Imponiamo poi i valori di carica e di energia dell'elettrone:

$$E = h\nu$$

$$e = IT$$



Calcoliamo il valore di potenza dissipata in una resistenza  $R$  usando la espressione della elettrotecnica:

$$P = RI^2$$

Dalla potenza si può calcolare l'energia,

$$E = RI^2T$$

Sostituendo qui dentro i valori  $T = 1/\nu$  nonché  $I = e/T$  si ottiene:

$$E = e^2\nu R$$

che eguagliamo alla energia  $E = h\nu$ :

$$E = e^2\nu R = h\nu$$

Per confronto dovrebbe essere:

$$e^2R = h \quad \rightarrow \quad R = h/e^2$$

Questo è il valore di resistenza necessaria, a cui possiamo dare un simbolo specifico  $R_K$  che è il simbolo adottato per la costante di von Klitzing

$$R_K = h/e^2$$

Se ne può dare una espressione alternativa mediante la costante di struttura fine  $\alpha$  e la impedenza del vuoto  $Z$ . Si parte per questo dalle espressioni note di  $\alpha$  e  $Z$ :

$$\alpha = e^2/(2\epsilon hc)$$

$$Z = \sqrt{\mu/\epsilon}$$

Con qualche passaggio e con  $c = 1/\sqrt{\mu\epsilon}$  si arriva a:

$$R_K = Z/2\alpha$$

Il valore risulta 25812,8..ohm con decimali vari.

[n4

Consideriamo una oscillazione permanente in un circuito L C.

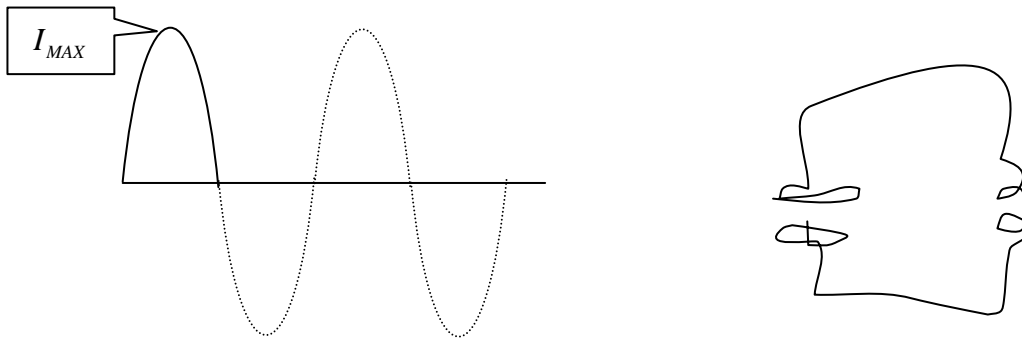
I valori della induttanza  $L$  e della capacità  $C$  fissano la pulsazione di risonanza:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

e la impedenza caratteristica o “circuit effective resistance”  $Z$ :

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega L$$

Sia  $T = 1/\nu$  il periodo e  $I_{MAX}$  il valore massimo della corrente.



La carica elettrica associata a una semionda di corrente vale

$$q = I_m \frac{T}{2}$$

dove  $I_m$  è il valore medio:

$$I_m = \frac{2}{\pi} I_{MAX}$$

La energia presente nel circuito si può calcolare indifferentemente nel momento in cui è tutta induttiva o tutta capacitiva. Essa vale:

$$W = \frac{1}{2} L I_{MAX}^2$$

Imponiamo che la carica  $q$  sia eguale alla carica  $e$  dell’elettrone.

Deve quindi essere:

$$e = q = \frac{I_{MAX} T}{\pi}$$

Da qui si ricava:

$$I_{MAX} = \frac{e\pi}{T} = e\pi\nu$$

che si può sostituire nella espressione di  $W$ :

$$W = \frac{1}{2} L e^2 \pi^2 \nu^2$$

Facendo qui comparire la impedenza caratteristica del circuito  $Z = \omega L$  si arriva a:

$$W = \frac{\pi}{4} Z e^2 \nu$$

Se questa energia deve essere eguale all’energia dell’elettrone, e quindi di espressione:

$$E = W = h\nu$$

deve risultare:

$$\frac{\pi}{4} Ze^2 = h$$

L'impedenza del circuito deve quindi valere:

$$Z = \frac{4}{\pi} \frac{h}{e^2}$$

Conclusione: a parte la discrepanza di un fattore  $4/\pi$  compare qui *quasi esattamente* il valore della costante di von Klitzing  $R_K = h/e^2$ .

Nota bene: potrebbe impressionare *lo sbaglio* di un fattore  $4/\pi$ , ma non è questo che deve impressionare. A priori un calcolo di questo genere avrebbe potuto portarci alla necessità di una resistenza di 0,0000000000000001 ohm, oppure di 50000000000000000000 ohm il che sarebbe stato imbarazzante da interpretare. Invece appare un valore di *circa 26.000 ohm!*

[n5]

Devo qui dire che sulla base dei nostri indizi precedenti il legame sarebbe possibile: esso sta nel fatto che la energia dell'elettrone, costante di Plank moltiplicato  $\nu$ , frequenza, può essere interpretata con la piccola corrente dovuta a una carica "e", carica elettrica dell'elettrone, e questo lega meccanica quantistica a elettromagnetismo.

Spieghiamolo con relazioni simil elettriche.

La costante di struttura fine è:

$$\alpha = e^2 / (2\epsilon hc)$$

Dalle relazioni:

$$\alpha = e^2 / (2\epsilon hc)$$

$$Z = \sqrt{\mu / \epsilon}$$

$$E = h\nu$$

con qualche passaggio e con  $c = 1/\sqrt{\mu\epsilon}$  si arriva a:

$$E = \frac{Z}{2\alpha} e^2 \nu$$

Questa ricorda terribilmente il legame potenza – corrente in una resistenza

$$P = Ri^2$$

e ancor più lo ricorda se consideriamo che esiste sperimentalmente una resistenza in fisica il cui valore è

$$R_K = Z / 2\alpha$$

per cui

$$E = R_K e^2 \nu$$

Il valore  $R_K$  risulta 25812,8 ohm con decimali vari

Naturalmente si può considerare del tutto casuale il fatto che se esiste una piccola corrente che ha energia  $E = h\nu = R_K e^2 \nu$  ciò equivale al transito di una piccola carica  $e$  pari alla carica dell'elettrone. Ma è difficile che sia un puro caso.

[n6]

Calcoli da [21] (Soldi).

Come esempio determiniamo il circuito equivalente di una linea bifilare in corto circuito, ripreso da [21].

Un impulso  $\delta(t)$  (delta di Dirac) applicato fra A e B dà luogo ad una serie di impulsi che si presentano a segni alterni fra i punti A e B, ad intervalli di tempo  $2\tau$ , essendo  $\tau$  il tempo di percorrenza della linea.

Si fa riferimento alle trasformate di Laplace.

La impedenza  $Z_{CC}$  vista fra A e B è eguale alla tensione  $V = Z_{CC}I$  per  $I = 1$ . Nel campo delle antitrasformate ciò significa la tensione fra A e B per una corrente in ingresso pari a un impulso di Dirac  $\delta(t)$ . Alla espressione in tempo:

$$\dots\dots\dots Z_{CC} = Z_o \left[ \delta(t) + 2 \sum_{K=1}^{\infty} (-1)^K \delta(t - 2K\tau) \right]$$

corrisponde la espressione trasformata di Laplace in  $p = \sigma + j\omega$

$$Z_{CC} = Z_o \operatorname{th} \tau p$$

la tangente iperbolica si sviluppa in serie mediante la formula:

$$\operatorname{th} x = \sum_n \frac{2x}{x^2 + \frac{n^2}{4} \pi^2} \quad (\text{n dispari}).$$

Con qualche passaggio si riesce così a poter scrivere la impedenza  $Z_{CC}$  nella forma:

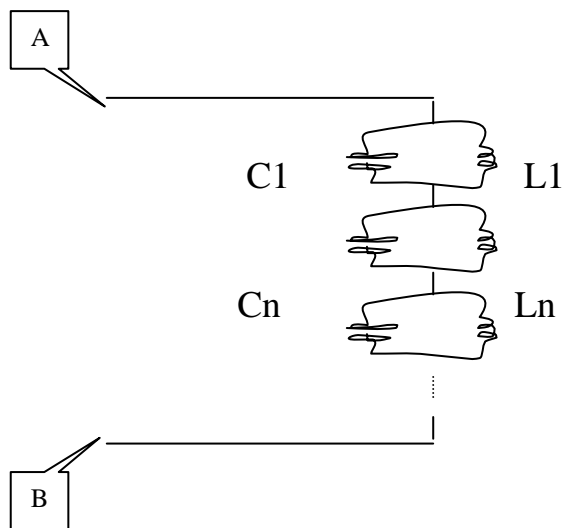
$$Z_{CC} = Z_o \operatorname{th} \tau p = \sum_n \frac{1}{pC_n + \frac{1}{pL_n}} \quad (\text{n dispari})$$

$$L_n = \frac{8Z_o \tau}{n^2 \pi^2}$$

$$C_n = \frac{\tau}{2Z_o}$$



A questa formula corrisponde una serie di circuiti oscillanti L C. Il risultato finale è dunque il seguente: la linea, vista fra A e B, ha come circuito equivalente a parametri concentrati una serie infinita di circuiti oscillanti L C.



La prima frequenza di risonanza vale:

$$\omega = \frac{\pi}{2\tau}$$

La impedenza caratteristica di questo oscillatore che entra in risonanza è *quasi* uguale alla impedenza caratteristica  $R_K$  della linea. Il suo valore esatto è

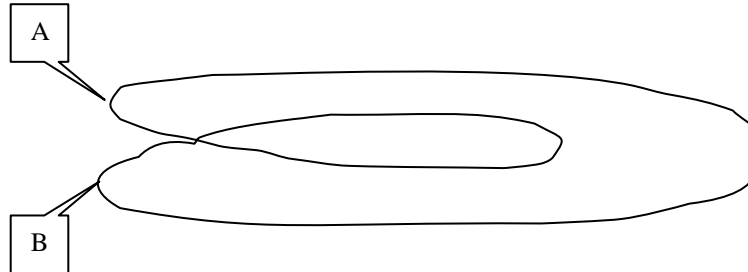
$$\sqrt{\frac{L1}{C1}} = \frac{4}{\pi} R_K = \frac{4}{\pi} \frac{h}{e^2}$$

Questi valori ci serviranno in un calcolo successivo.

[n7]

Calcolo circuito oscillante col 4/pigreco.

Assimiliamo il filo visto fra i punti A e B ad una linea in corto circuito avente impedenza caratteristica  $Z_o = R_K$ .



Un impulso  $\delta(t)$  (delta di Dirac) applicato fra A e B dà luogo ad una serie di impulsi che si presentano a segni alterni fra i punti A e B, ad intervalli di tempo  $2\tau$  che in questo caso sono pari a una distanza  $\lambda_c/2$  percorsa alla velocità della luce. In formula:

$$2\tau = \frac{\lambda_c/2}{c}$$

Con questi valori di  $2\tau$  e di  $Z_o = R_K$  possiamo calcolare tutti i parametri del circuito equivalente.

Il circuito è formato da una serie infinita di oscillatori L C.

Il primo oscillatore L C ha una frequenza di risonanza che, sfruttando il calcolo già fatto, è fornita dalla formula:

$$\omega = \frac{\pi}{2\tau} = \frac{2\pi c}{\lambda_c}$$

da cui segue:

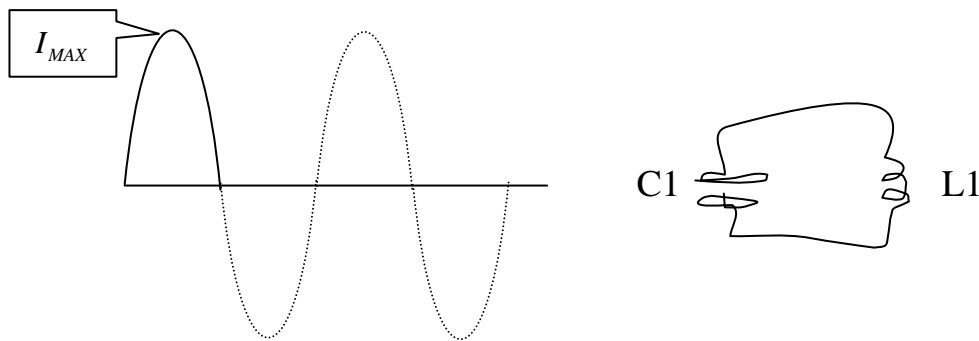
$$\dots\dots\dots v = \frac{c}{\lambda_{\text{COMPTON}}}$$

ossia precisamente la frequenza associata alla lunghezza d'onda Compton dell'elettrone o brevemente "la frequenza dell'elettrone".

La impedenza caratteristica di questo oscillatore che entra in risonanza è *quasi* uguale alla impedenza caratteristica della linea. Il suo valore esatto, sfruttando un calcolo già fatto, è:

$$\sqrt{\frac{L1}{C1}} = \frac{4}{\pi} Z_o = \frac{4}{\pi} R_K$$

La energia in gioco in *questo* oscillatore si può calcolare.  
 Sia  $I_{MAX}$  il valore massimo della corrente alla risonanza:



La carica elettrica associata a una semionda di corrente vale

$$q = I_m \frac{T}{2}$$

dove  $I_m$  è il valore medio:

$$I_m = \frac{2}{\pi} I_{MAX}$$

La energia presente nel circuito si può calcolare indifferentemente nel momento in cui è tutta induttiva o tutta capacitiva. Essa vale:

$$W = \frac{1}{2} L I_{MAX}^2$$

Se la carica  $q$  è eguale alla carica  $e$  dell'elettrone:

$$e = q = \frac{I_{MAX} T}{\pi}$$

si ricava:

$$I_{MAX} = \frac{e \pi}{T} = e \pi \nu$$

che si può sostituire nella espressione di  $W$  :

$$W = \frac{1}{2} L e^2 \pi^2 \nu^2$$

Facendo qui comparire la impedenza caratteristica del circuito  $Z = \omega L = \sqrt{L/C1}$  si arriva a:

$$= W = \frac{\pi}{4} \left( \frac{4}{\pi} \frac{h}{e^2} \right) e^2 \nu = h \nu$$

che risulta *esattamente* la formula che dà l'energia dell'elettrone:

$$E = W = h \nu$$

Per  $\nu$  dobbiamo introdurre la frequenza caratteristica dell'elettrone. Qual'è la frequenza caratteristica dell'elettrone? E' quella esibita sperimentalmente negli esperimenti di urto

$$\nu = \frac{c}{\lambda_{\text{COMPTON}}} = \frac{mc^2}{h}$$

dove  $m$  è la massa dell'elettrone. Da questa sostituendo si ha:

$$E = W = h\nu = mc^2$$

Conclusione: la corrente in circolazione in questo circuito giustifica carica frequenza ed energia dell'elettrone.

[n8]

Ad una corrente viaggiante in circolo si associa una energia a cui corrisponde la massa dell'elettrone. Lo abbiamo visto nel calcolo precedente:

$$W = \frac{1}{2} LI_{\text{MAX}}^2 = h\nu$$

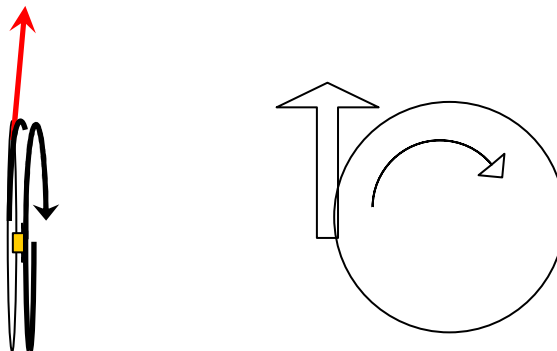
[n9]. L'impulso in rotazione giustifica esattamente il valore dello spin dell'elettrone. Il momento angolare, lo "spin", dell'elettrone vale:

$$S = \frac{\hbar}{2}$$

Rammentiamo come è definito un momento angolare e perché questo spin appaia essere la metà di quanto ci si attenderebbe.

Un impulso  $p$  in rotazione su una circonferenza di raggio  $r$  dà luogo per definizione ad un momento angolare che vale:

$$S = pr .$$



Rammentiamo la espressione:

$$\lambda_{\text{COMPTON}} = \frac{h}{mc}$$

Ad una circonferenza  $\lambda_{\text{COMPTON}}/2$  corrisponde pertanto un raggio:

$$r = \frac{\lambda_{\text{COMPTON}}/2}{2\pi} = \frac{1}{2} \frac{\hbar}{mc} = \frac{r_C}{2}$$

metà del cosiddetto “raggio Compton”  $r_C$ :

L’impulso in rotazione vale:

$$p = mc$$

e pertanto si ottiene il corretto momento angolare:

$$S = pr = mc \left( \frac{1}{2} \frac{\hbar}{mc} \right) = \frac{\hbar}{2}$$

[n10]. La carica in rotazione fornisce il valore esatto del momento magnetico dell’elettrone

Il momento magnetico dell’elettrone vale salvo piccole correzioni:

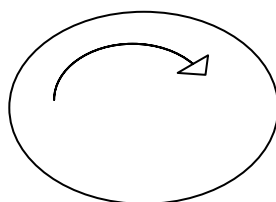
$$\mu \cong \mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$$

dove  $\mu_B$  è il cosiddetto “magnetone di Bohr”.

Rammentiamo come è definito un momento magnetico.

Una corrente  $I$  in circolazione su una spira (un cerchio) di area  $A$  dà luogo per definizione a un momento magnetico:

$$\mu = IA$$

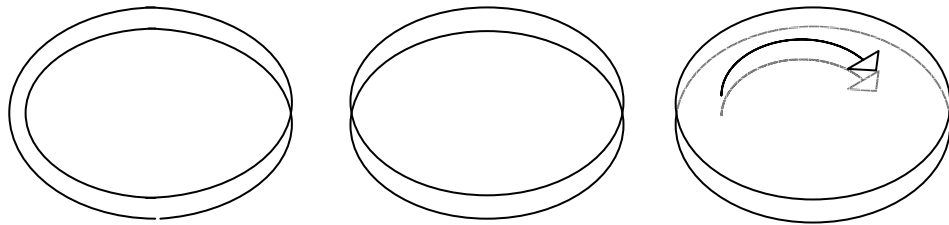


Per la precisione se ci sono  $N$  spire eguali a questa, sovrapposte, ognuna fornisce il suo contributo al momento magnetico totale, il quale diventa  $N$  volte più grande:

$$\mu = NIA$$

Nel nastro di Moebius la carica elettrica in rotazione vale  $q = e$ . Essa, percorrendo il filo che è bordo del nastro, è come se percorresse *due spire* che di raggio  $r_c/2$  che contribuiscono entrambe al momento magnetico. Pertanto:

$$\mu = 2IA$$



La corrente è già stata calcolata come valore medio associato ad una semionda, e si può riscrivere così:

$$I = I_m = \frac{e}{T/2} = 2ev$$

L'area  $A$  vale:

$$A = \pi \left( \frac{r_c}{2} \right)^2$$

Sostituendo e con qualche passaggio si ottiene giustamente:

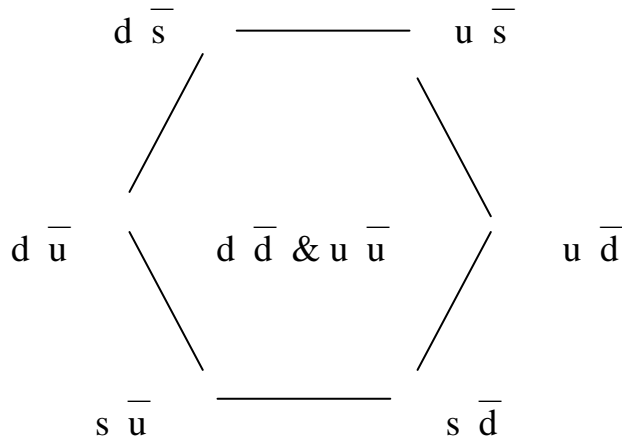
$$\mu = 2IA = \frac{e\hbar}{2m}$$

[n11]. Quando il tutto è in moto sono esattamente soddisfatte le formule che prevedono il comportamento meccanico di una particella elementare. Lasciato per esercizio.

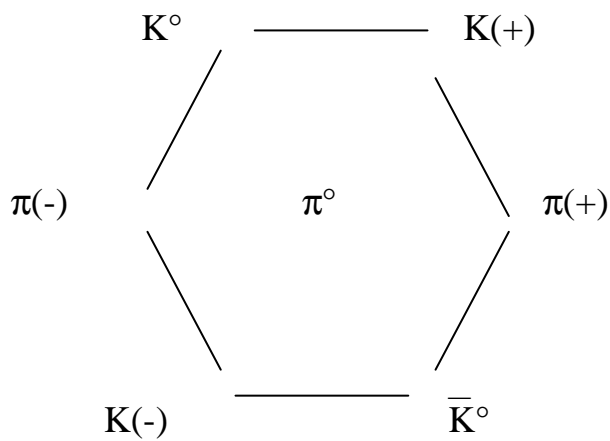
[n12] Il sistema, fermo o in moto, esibisce esattamente i valori di lunghezza d'onda che prevede l'onda "psi" della meccanica quantistica. Lasciato per esercizio.

[n13]

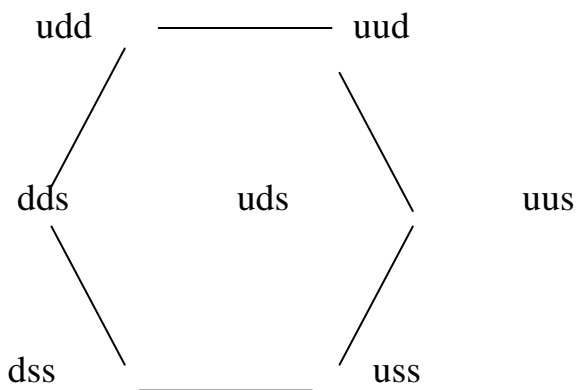
Le composizioni a quark (da Franzinetti [34], modelli a quark) sono qui riassunte. Ottetto dei mesoni:



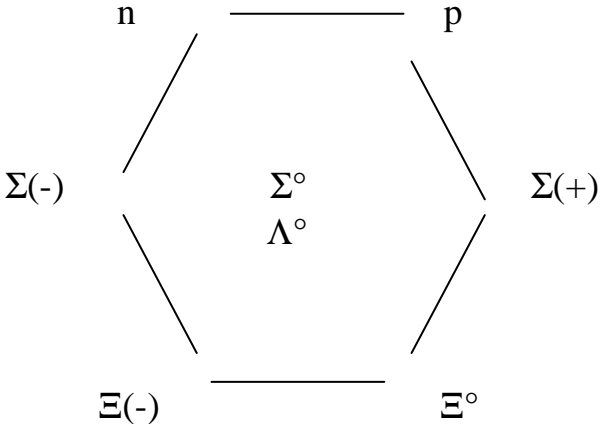
Si formano così i mesoni pigreco e K secondo questo schema:



Le composizioni per l'ottetto dei barioni sono queste:



Si formano così il protone p, il neutrone n e altri barioni che hanno questi nomi:





## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] M. Jammer, “Storia del concetto di massa”, Feltrinelli (1974)
- [2] K. R. Popper, “Poscritto alla logica della scoperta scientifica. III. La teoria dei quanti e lo scisma nella fisica”, il Saggiatore (1984)
- [3] A. Sommerfeld, “Lectures on theoretical Physics. III. Electrodynamics”, Academic Press (1952)
- [4] W. Heisenberg et al., “Discussione sulla fisica moderna”, Universale scientifica Boringhieri (1980)
- [5] D. Hestenes, “Quantum mechanics from self – interaction”, Found. Phys. 15, 63-87 (1985)
- [6] D. Bohm, B.J. Hiley, “The undivided universe. An ontological interpretation of quantum theory”, Routledge (2003)
- [7] M. Talbot, “The holographic universe”, HarperPerennial (1991)
- [8] C. Quigg, “Particelle elementari e forze”, Le Scienze Quaderni, n. 103 (1998)
- [9] A. Einstein, “Il significato della relatività”, Einaudi (1955)
- [10] S. D’Agostino, “L’elettromagnetismo classico”, Sansoni (1975)
- [11] D. Hestenes “A unified language for Mathematics and Physics”, in “Clifford Algebras and their Applications in Mathematical Physics”, NATO ASI Series, Reidel (1986)
- [12] C. Doran et al., “Physical applications of geometric algebra”, Internet Release
- [13] G.E.Silov, “Analisi matematica. Funzioni di una variabile”, Ed. MIR, Moscow, 1978
- [14] M.I. Skolnik, “Radar Handbook”, Mc Graw Hill (1970)
- [15] F. Musto, “Storia della tecnologia radar”, Bariletti Editori (1990)
- [16] S. Ramo, J. R. Whinnery, T. van Duzer, “Fields and Waves in Communication Electronics”, John Wiley (1994)

- [17] A.E.Fuhs “Radar Cross Section Lectures” , American Institute of Aeronautics and Astronautics, New York, No-See-Um Book
- [18] K. von Klitzing, “L’effetto Hall quantistico”, Le Scienze Quaderni, n. 35 (1986)
- [19] E. Kruger et al. “New determination of the fine structure constant using neutrons”, PTBnews 96.2, Internet release
- [20] R. Gouiran, “Particelle e acceleratori”, il Saggiatore (1967)
- [21] M. Soldi, “Elementi di tecnica delle forme d’onda”, Levrotto & Bella, Torino (1955)
- [22] E. Persico, “Fondamenti della meccanica atomica”, Zanichelli (1939)
- [23] D. Hestenes, “Space time algebra”, Gordon and Breach (1966)
- [24] S. Gull et al., “Imaginary numbers are not real – the geometric algebra of spacetime”, Found. Phys. 23(9):1175, (1993)
- [25] D. Hestenes, “Zitterbewegung modeling”, Found. Phys. 23, 365-387,(1993)
- [26] D Hestenes, “The zitterbewegung interpretation of quantum mechanics”, Found. Phys. 20, 1213-1232 (1990)
- [27] D. Hestenes, “Clifford Algebra and the interpretation of quantum mechanics”, in “Clifford Algebras and their Applications in Mathematical Physics”, NATO ASI Series, Reidel (1986)
- [28] J. G. Williamson, M. B. van der Mark, "Is the electron a photon with toroidal topology?", Annales de la fondation Louis de Broglie, Volume 22, n. 2, 133 (1997)
- [29] T.S. Natarajan, "Do quantum particles have a structure?", [tsn@acer.iitm.ernet.in](mailto:tsn@acer.iitm.ernet.in) Department of Physics, Indian Institute of Technology (Internet release)
- [30] D. Hestenes, “Space-time structure of weak and electromagnetic interactions”, Found. Phys. 12, 153-168 (1982)
- [31] S. R. Cloude, “Polarimetric techniques in radar signal processing”, Microwave Journal, July (1983)

[32] S. Weinberg, “Teorie unificate dell’interazione tra particelle elementari”, *Le Scienze* 75 (1974)

[33] K. W. Ford, “La fisica delle particelle”, Mondadori (1965)

[34] C. Franzinetti, “Particelle”, Editori Riuniti (1982)

[35] Y. Nambu, “Il confinamento dei quark”, *Le Scienze* 102 (1977)

[36] S. L. Glashow, “Quark dotati di colore e sapore”, *Le Scienze* 89 (1976)

[37] A. Barbagelata, P. De Pol, “Macchine e apparecchi elettrici”, Tamburini Editore (1964)