

Articolo di ricerca

Fotone: un primo modello che lo descrive.

Francesco Ferrara

Docente di fisica presso istituto tecnico statale “M. Orso Corbino”, sito in Partinico (PA),
ricercatore indipendente.

Sito internet: www.proffonlineall.it

Il sottoscritto è autore dei seguenti libri di testo:

1. **Verso la fisica**, edito da Arianna Edizioni: testo destinato al biennio del liceo scientifico, di cui di seguito è riportato il link

https://www.amazon.it/s?k=verso+la+fisica&__mk_it_IT=ÅMÅŽÕÑ&ref=nb_sb_noss

2. **Con me stanno buoni**, un libro che presenta un realistico spaccato della scuola di oggi, andando oltre la facciata che la nasconde.

https://www.amazon.it/s?k=con+me+stanno+buoni+francesco+ferrara&__mk_it_IT=ÅMÅŽÕÑ&ref=nb_sb_noss

3. **Il danzatore cosmico**, Aracne edizioni, testo di fisica divulgativo

<https://www.youtube.com/watch?v=gTgkX2K1RFE>

1. Introduzione

Il mio nome è Francesco Ferrara, sono un insegnante di fisica, nonché ricercatore indipendente. Ho sempre manifestato un vivace coinvolgimento nei confronti del sapere, privilegiando un tipo di approccio olistico: i miei interessi spaziano, dalla fisica, all'elettronica, alla medicina, alla filosofia. La mia attività di ricerca si avvale, per lo più, di fonti non ufficiali, provenienti soprattutto dal mondo della rete, che tendono a promuovere contenuti diversi da quelli ufficialmente accettati. Credo che l'apporto che i ricercatori indipendenti abbiano dato alla scienza, nei settori più disparati, sia degno di nota, poiché tali studiosi sono stati esclusivamente motivati da una sana curiosità, scevra da interessi di tipo economico.

1.1 Nomenclatura

| Grandezza fisica | Simbolo | Unità di misura |
|---|---|-----------------|
| Durata dell'impulso di corrente | τ | s |
| Intensità massima della corrente generata dalla sferetta positiva | i_p | A |
| Intensità massima della corrente generata dalla sferetta negativa | i_n | A |
| Periodo della forma d'onda della corrente attraverso una generica sezione | T | s |
| Lunghezza delle due stringhe di corrente | 2L | m |
| Carica della sferetta positiva | $q^+ = q_p$ | C |
| Carica della sferetta negativa | $q^- = q_n$ | C |
| | $q_p = 1.60217733 \cdot 10^{-19} C$ $q_n = -1.60217733 \cdot 10^{-19} C$ | |
| Velocità della sferetta carica positivamente | $v_p(t)$ | m/s |
| Velocità della sferetta carica negativamente | $v_n(t)$ | m/s |
| Velocità media, in un periodo, della sferetta carica negativamente | v_{nm} | m/s |
| Velocità media, in un periodo, della sferetta carica positivamente | v_{pm} | m/s |
| Pulsazione angolare delle due sferette | ω | s^{-1} |

2. Presentazione del modello

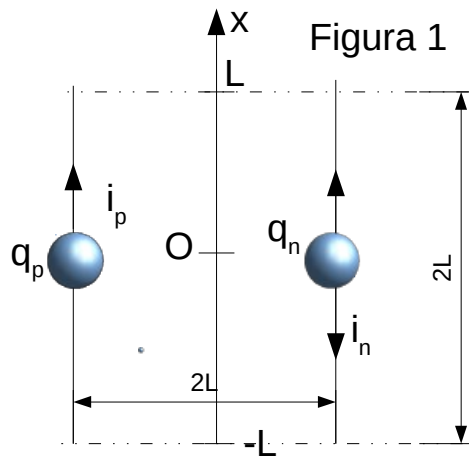


Figura 1

Il modello di fotone da me implementato è composto da due stringhe filiformi, parallele, aventi una lunghezza $2L$, con $L \simeq 7,424791147 \cdot 10^{-15} m$, distanti l'una dall'altra una distanza pari a

$$d = 2L \simeq 1,48495822919359 \cdot 10^{-14} m$$

Due sferette, prive di massa, una carica positivamente ed una carica negativamente, aventi un raggio, pari al raggio classico dell'elettrone, ($r \simeq 2,817940326727 \cdot 10^{-15} m$), si muovono di moto armonico, alla velocità della luce, ciascuna lungo ognuna delle due stringhe, nello stesso verso.

La velocità della sferette ha un andamento sinusoidale, essa raggiunge un valore massimo per $x = 0$, e si annulla per $x = L$ ed $x = -L$

Facciamo riferimento alla sezione corrispondente ad $x = 0$. In tale sezione la velocità sarà massima e pari a quella della luce c .

Indicando con τ l'intervallo di tempo necessario alla sferetta carica a transitare attraverso la sezione ad ascissa $x = 0$, è possibile scrivere:

$$\tau = \frac{2r}{c} \quad \text{Relazione 1}$$

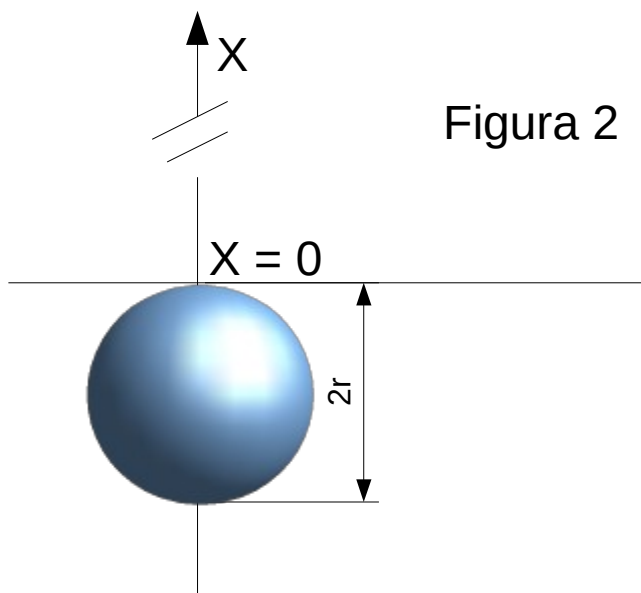


Figura 2

Calcoliamo la corrente che attraversa la sezione di ascissa $x = 0$, si ha:

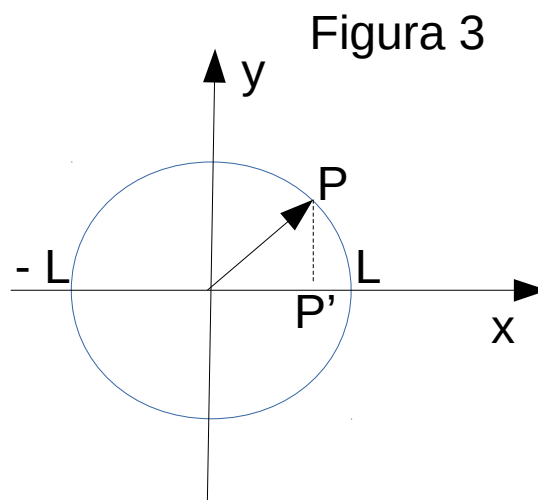
$$i_p = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{ec}{2r} \quad \text{Relazione 2}$$

Nella sezione ad ascissa $x = 0$, in un certo istante, che definiamo istante zero, si ha un impulso di corrente la cui intensità è pari ad $ec/2r$ e la cui durata è pari a $2r/c$.

Indichiamo con T , il periodo, ossia il tempo necessario alla sferetta carica, per compiere un'oscillazione completa: partendo dal centro ($x=0$), arrivando all'estremo superiore di oscillazione di ascissa $x = L$, passando ancora per il centro in verso opposto, raggiungendo così l'estremo di oscillazione inferiore $x = -L$ e ritornando al centro.

Dopo un tempo pari alla metà del periodo, la sferetta transiterà nuovamente attraverso la sezione di ascissa $x = 0$, procedendo verso il basso, si genererà un impulso di corrente di ampiezza uguale a quello precedente, ossia " $ec/2r$ ", ma negativo.

Per calcolare la durata di un periodo, ossia il tempo impiegato dalla sferetta a compiere un'oscillazione completa, è possibile riguardare il moto armonico della sferetta lungo la stringa, come la proiezione, lungo un diametro, di un punto che si muove di moto circolare ed uniforme lungo una circonferenza di raggio L , ad una velocità pari in modulo a quella della luce.



Consideriamo un grafico che mostra l'andamento, nel tempo, della corrente, in corrispondenza alla sezione di ascissa $x = 0$.

Indicando con x l'ascissa del punto P' , vedi figura 3, è possibile scrivere:

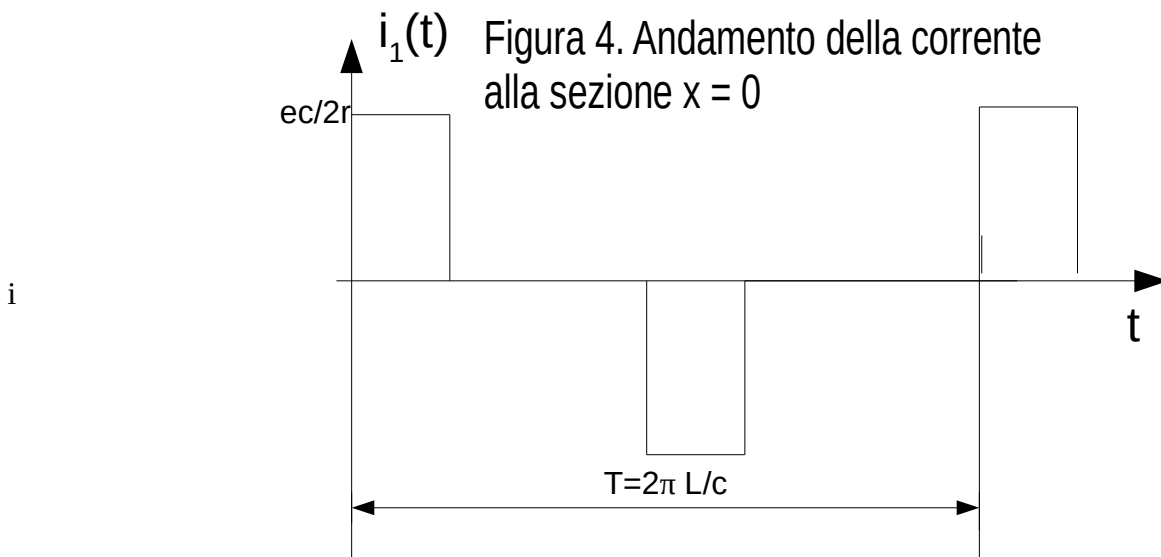
$$x(t) = L \cdot \cos \omega t \quad \text{Relazione 3}$$

Derivando rispetto al tempo la relazione 3 si ha:

$$v_p = -\omega L \sin \omega t \quad \text{Relazione 5}$$

La quantità ωL è uguale alla velocità tangenziale nel punto P , che nel nostro caso è pari alla velocità della luce.

Si ha:



$$\omega L = c \quad \text{Relazione 6}$$

ancora:

$$\frac{2 \cdot \pi}{T} L = c \quad \text{Relazione 7}$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{c} \quad \text{Relazione 8}$$

Considerando la stringa descritta dalla sferetta carica negativamente, si avrà un'espressione della corrente $i_2(t)$, uguale ad $i_1(t)$, ma invertita in segno.

La corrente, come già detto, è massima nella sezione corrispondente a $x = 0$, la sua intensità diminuisce quando dalla sezione $x = 0$, ci si sposta nelle altre sezioni della stringa, fino ad arrivare ad essere zero, quando $x = L$ ed $x = -L$

Nell'espressione della corrente bisogna tenere conto di un fattore che moduli l'ampiezza della corrente stessa, quando ci spostiamo dalla sezione $x = 0$, alle altre sezioni della stringa.

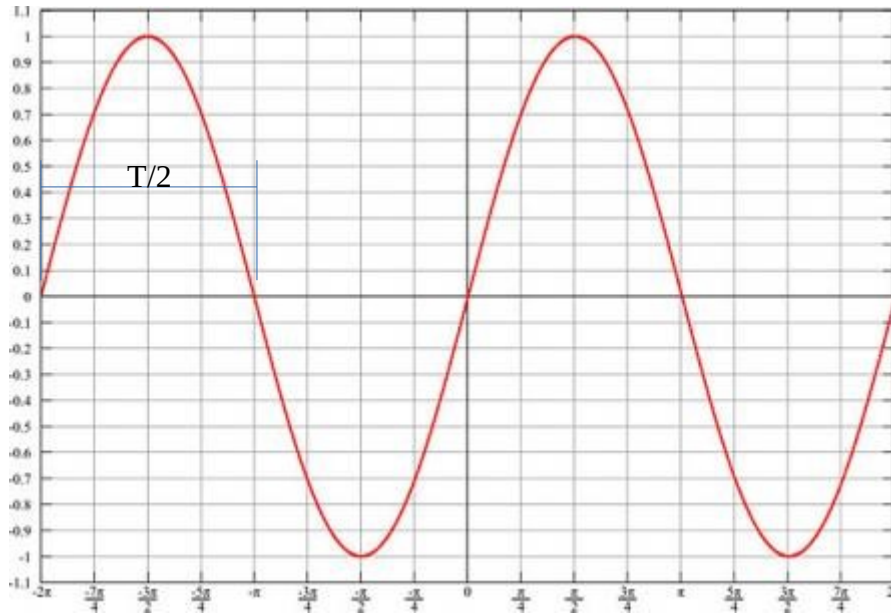
Tale fattore è:

$$\cos \frac{\pi}{2L} \cdot x \quad \text{Relazione 9}$$

Per $x = 0$ si ha $\cos(0) = 1$, l'intensità di corrente sarà massima. Quando $x = +L$ oppure $x = -L$ si avrà $\cos(\pi/2) = 0$, oppure $\cos(-\pi/2) = 0$

Calcoliamo, adesso, la velocità media mantenuta dalla sferetta carica durante un'oscillazione completa lungo la stringa.

Imponiamo che:



$$\int_0^{T/2} c \cdot \sin(\omega \cdot t) dt = \frac{V_{pm} \cdot T}{2} \rightarrow$$

$$\frac{-c}{\omega} (\cos(\frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot \frac{T}{2}) - \cos(0)) = \frac{2 \cdot c}{\omega} = \frac{v_{pm} T}{2} \rightarrow \frac{c T}{\pi} = \frac{v_{pm} T}{2} \rightarrow v_{pm} = \frac{2c}{\pi}$$

Se ci troviamo ad una generica sezione x , la forma d'onda della corrente sarà traslata in avanti rispetto a quella relativa alla sezione $x = 0$, di una quantità approssimativamente uguale a $\pi x / 2c$. Volendo scrivere un'espressione della corrente, al variare dell'ascissa x ed in funzione del tempo t , potremmo scrivere:

$$i_p(t) = \frac{ec}{2r} \cdot \cos(\frac{\pi}{2L} x) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n u(t - n \frac{T}{2} - \frac{\pi x}{2c}) \quad \text{Relazione 10}$$

L'ascissa x interviene su due parametri della forma d'onda: l'ampiezza e la fase. La relazione 10 è approssimata, in quanto, il termine che tiene conto dello sfasamento della forma d'onda della corrente, in una generica sezione x , rispetto alla sezione $x = 0$, è stato ricavato come rapporto fra l'ascissa stessa x e la velocità media della sferetta carica.

La corrente della sferetta negativa sarà, praticamente identica ma cambiata in segno

$$i_n(t) = \frac{-ec}{2r} \cdot \cos(\frac{\pi}{2L} x) \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n u(t - n \frac{T}{2} - \frac{\pi x}{2c}) \quad \text{Relazione 11}$$

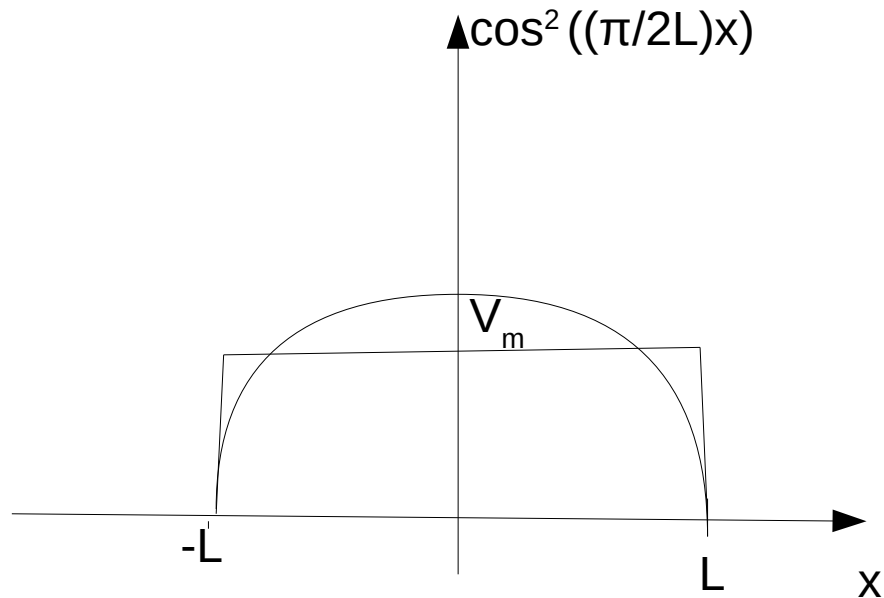
Ci proponiamo, adesso, di calcolare l'energia profusa da tale sistema in un tempo T , pari al periodo. Supponendo che le due stringhe di corrente si trovino nel vuoto, elevando al quadrato la corrente e moltiplicando per l'impedenza caratteristica del vuoto Z_0 , otteniamo la potenza. Moltiplicando tale potenza, per la durata di un periodo, è possibile calcolare l'energia profusa dal sistema composto dalle due stringhe di corrente, in un periodo.

Si ha:

$$E_{periodo} = \frac{e^2 \cdot c^2}{4r^2} \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{2L}x\right) \cdot Z_0 \cdot T \quad \text{Relazione 12}$$

Il termine $\cos^2\left(\frac{\pi}{2L}x\right)$ che è un numero puro, al variare dell'ascissa x , modula l'altezza dell'impulso di corrente, per ogni sezione.

Il termine $\cos^2\left(\frac{\pi}{2L}x\right)$, avrà un valore medio lungo la dimensione $2L$ della stringa, che possiamo calcolare:



Per

calcolare il valore medio del termine $\cos^2\left(\frac{\pi}{2L}x\right)$ imponiamo che:

$$V_m \cdot 2L = \int_{-L}^L \cos^2\left(\frac{\pi}{2L}x\right) dx = \frac{2L}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2(y) dy = \frac{2L}{\pi} \left[\frac{2}{2} - \left(-\frac{2}{2}\right) \right] = \frac{2L}{\pi} \left[\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \right] = \frac{2L}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} \right] = L$$

Si ha:

$$V_m \cdot 2L = L \rightarrow v_m = \frac{1}{2}$$

Alla luce di questo risultato è possibile scrivere che l'energia media, in un intero periodo T , e considerando l'intera lunghezza della stringa di corrente, sarà uguale a:

$$E_{media \cdot periodo} = \frac{e^2 \cdot c^2}{8r^2} \cdot Z_0 \cdot T \quad \text{Relazione 13}$$

L'energia media in un periodo, della stringa formata dalla sferetta carica negativamente, avrà la medesima espressione.

Si ha, quindi:

$$E_{Media.Totale} = \frac{e^2 c^2}{4r^2} Z_0 T \quad \text{Relazione 14}$$

E' possibile esprimere T con la seguente relazione: $T = \frac{2\pi L}{c}$ Relazione 15

Sostituendo la 15 nella 14 si ha:

$$E_{Media.Totale} = \frac{e^2 c^2}{4r^2} Z_0 \frac{2\pi L}{c} \rightarrow E_{Media.Totale} = \frac{e^2 c Z_0 \pi L}{2r^2} = \frac{e^2 Z_0 \pi L}{2r^2} \cdot c = \frac{e^2 Z_0 \pi L}{2r^2} \cdot \omega L = \frac{e^2 Z_0 \pi L^2}{2r^2} \cdot \omega$$

$$E_{Media.Totale} = \frac{e^2 Z_0 \pi L^2}{2r^2} \cdot \omega \quad \text{Relazione 16}$$

La relazione ottenuta è molto significativa, poiché testimonia che l'oggetto da noi implementato si comporta, di fatto come un fotone, profondendo, ad ogni periodo, una quantità di energia pari al prodotto di una costante, per la pulsazione angolare ω .

E' noto, dalla relazione di Planck, che l'energia di un fotone è esprimibile come prodotto della costante di Planck ridotta, per la pulsazione ω , si ha:

$$E = \hbar \cdot \omega \quad \text{Relazione 17}$$

Uguagliando membro a membro le relazioni 16 e 17 si ha:

$$\frac{e^2 Z_0 \pi L^2}{2r^2} = \hbar \rightarrow \frac{L^2}{r^2} = \frac{2\hbar}{e^2 Z_0 \pi} \rightarrow$$

$$\frac{L}{r} = \sqrt{\frac{2\hbar}{e^2 Z_0 \pi}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.05457266 \cdot 10^{-34}}{(1.60217733 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 376.730313461 \cdot \pi}} \simeq 2,63482909$$

Poiché la sferetta carica ha un raggio pari al raggio classico per l'elettrone, si ha:

$$L = r \cdot 2,63482909 \simeq 2,817940326727 \cdot 10^{-15} \cdot 2,63482909 \simeq 7,424791147 \cdot 10^{-15} m$$

Il modello descrive, a tutti gli effetti il comportamento di un fotone: le correnti lungo le due stringhe, procedendo in verso opposto, generano due masse di natura elettromagnetica, uguali e contrarie, ciò renderà nulla la massa totale del fotone. L'energia trasportata ad ogni periodo sarà proprio quella espressa dalla nota formula di Planck $E = \hbar \omega$

Il fotone è un oggetto fisico ben definito, pertanto, ha senso parlare di polarizzazione. La direzione di polarizzazione è proprio quella imposta dalla direzione in cui le sferette cariche oscillano, determinando le stringhe di corrente. La fisica classica, invece, attribuiva al fotone la stessa polarizzazione del campo elettrico dell'onda elettromagnetica responsabile della presenza degli stessi fotoni. Non ha senso parlare di polarizzazione di un pacchetto non meglio definito di energia.