

MODULO 5

OSCILLATORI E OSCILLAZIONI

OBIETTIVO:

È un modulo propedeutico per la comprensione di importanti principi fisici che possono essere utilizzati per spiegare la propagazione dell'energia. Inoltre, presenta un'idea divulgativa originale e cioè quella di accomunare in una sola lezione diversi fenomeni oscillatori riscontrabili in natura.

TARGET:

Scuola media e scuole di grado superiore

MATERIALE OCCORRENTE: Vedi testo

Introduzione e Teoria:

Proviamo per semplicità, almeno inizialmente, a catalogare l'intero universo fisico in due sole entità ben distinte: lo **spazio** e la **materia/energia**. Sappiamo che la materia e l'energia sono due aspetti di una sola entità fisica. Infatti, la massa, che risulta essere l'espressione della materia stessa, ha la possibilità di convertirsi in energia e a sua volta l'energia può convertirsi in materia. Per questa ragione mi permetto di definire con il termine "**materia/energia**" una sola entità fisica. Già Albert Einstein (1879-1955), grande scienziato tedesco, che portò agli inizi del secolo la più grande innovazione nella fisica con la teoria della relatività, aveva espresso questo concetto con la sua nota relazione matematica che equivaleva l'energia alla massa mediante una costante che coincideva con la velocità della luce nel vuoto al quadrato ($E=mc^2$).

Storicamente troviamo traccia di questa equivalenza fra i concetti di materia ed energia già nelle culture religiose dell'antico Egitto. Negli scritti antichi, troviamo che fra gli Dei principali, artefici della creazione dell'universo, ci sono **Ptha** e sua moglie **Sekhmet** (Mut). Mentre a Ptha era dato il compito di convertire l'energia in materia (creazione pura), sua moglie Sekhmet convertiva invece la materia in energia. Anche nella religione induista troviamo, al pari di Ptha e Sekhmet figure di riferimento come **Brahman** e **Shiva** rispettivamente associate alla creazione e alla distruzione (ordine e caos). È interessante e sorprendente notare come la formula di Einstein che associa l'energia alla massa, sviluppata dallo stesso scienziato all'inizio del 1900, abbia espresso un concetto corrispondente a dottrine antichissime così lontane nella storia dell'uomo. Ma entriamo adesso nel tema fondamentale di questo modulo.

Come fa la materia/energia a propagarsi nello spazio fisico? La risposta a questa domanda costituisce l'argomento di questo modulo ricco di esperimenti estremamente avvincenti. Cerchiamo quindi di dare subito spazio a tale risposta.

Tutte le volte che esiste la necessità di trasferire dell'energia attraverso lo spazio fisico, questa si propaga tramite un'onda. Si viene quindi a generare un'oscillazione nello spazio in modo da rendere possibile questo trasferimento.

Quello che mi sto apprestando a chiarire è uno dei fenomeni più importanti fra quelli che governano il mondo fisico tramite il quale si giustifica l'esistenza delle oscillazioni. La natura si serve di questo fenomeno per propagare l'energia nello spazio, ma quello che risulta essere più affascinante, è che questo concetto può essere facilmente esteso alla materia stessa. Non riguarda certamente questo modulo, né questo libro per come è stato scritto, ma, questo concetto importantissimo che in questa sede purtroppo non possiamo approfondire, può essere racchiuso nell'espressione "tutto è vibrazione". Ma, torniamo a noi.

Se pensiamo ad una lampadina ad incandescenza che è alimentata da una fonte di energia elettrica, possiamo facilmente accorgerci che essa emette tutta l'energia che assorbe dalla rete elettrica sotto forma di luce e calore. Ma sia la luce che il calore sono propagazioni di onde. Il calore è infatti, costituito da radiazioni elettromagnetiche a bassa frequenza e la luce visibile, che risulta essere una frazione dell'energia totale emessa da una lampadina ad incandescenza, è costituita da onde elettromagnetiche a frequenza più alta.

Se colpiamo una superficie dura con un martello, udiremo il rumore del colpo, questo fatto ci rileva l'avvenuta emissione di onde acustiche che si sono generate nell'istante in cui si è verificato l'urto fra i due materiali. Inoltre, altre vibrazioni si saranno prodotte all'interno del corpo e sulla sua superficie. In più si osserverà un certo riscaldamento del punto di impatto, altro esplicito segnale che parte dell'energia meccanica si è trasformata in calore quindi ancora in oscillazioni. Potremo continuare così all'infinito e troveremo continuamente esempi che mostrano come, tutte le volte che l'energia deve propagarsi, utilizza un'onda.

Una domanda che potrebbe sorgere spontaneamente a questo punto è la seguente, << Che significa estendere il concetto anche alla materia/energia ? >> Significa forse che anche la materia si propaga come le onde ? Viene da chiederci, con espressione divertita, se spedisco una lettera, si sposta della carta stampata oppure è un'onda ?

Tuttavia anche se può sembrarvi strano è proprio così. Anche la materia si propaga come onde, solo che noi non ce ne accorgiamo.

Questo compendio di teoria deve essere semplice nella sua esposizione e, di conseguenza non posso entrare troppo nel merito di certe affermazioni per non complicare e allungare troppo il discorso. Si tratta di un impegno che mi sono posto come obiettivo e quindi devo cercare di mantenere quando più possibile. Nell'appendice finale di questo testo ci sono però dei capitoli molto interessanti che approfondiscono ulteriormente questi argomenti. Molti di voi infatti, sanno certamente che la fisica quantistica è quella disciplina che oggi è in grado di prevedere questi curiosi comportamenti della materia e spiegare, attraverso modelli non sempre molto semplici questi fenomeni. Magari, siete già avvezzi di esperienze divulgative in tale ambito e sapete come comportarvi in un'aula piena di studenti che vogliono capire il significato di questi concetti. Comunque, se vi trovate ad esporre dinanzi ad un pubblico di giovani che frequentano gli ultimi anni di una scuola primaria, non è necessario complicare troppo il discorso. Se invece, vi trovate al cospetto di allievi più adulti, potete certamente generalizzare i concetti ed approfondire le affascinanti e moderne tematiche della fisica quantistica. A tal proposito, vi rimando alle appendici di questo libro che espongono questi argomenti con relativa semplicità.

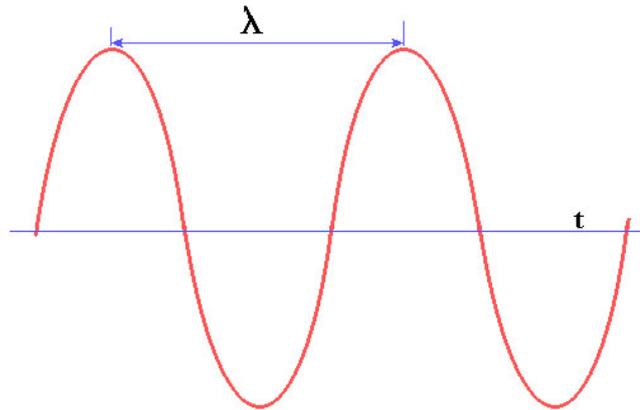


Fig. 1.5 - Oscillazione periodica di tipo sinusoidale -

Definiamo il concetto di oscillazione

Un'oscillazione è caratterizzata sempre da una frequenza (ν), una lunghezza d'onda (λ), un'ampiezza e una velocità di propagazione. La figura n. 1.5 mostra un esempio di oscillazione caratteristica con un andamento di tipo sinusoidale. L'ampiezza dell'oscillazione è la misura della quantità di energia che si propaga nello spazio. La lunghezza d'onda è la misura dell'intervallo esistente fra i due picchi dell'oscillazione, oppure dei due ventri, che risulta essere perfettamente lo stesso concetto. La frequenza è la misura del numero dei picchi che si vedono nell'unità di tempo. In parole semplici esprime quante volte il sistema oscilla in un secondo. La velocità dell'oscillazione dipende dal tipo di fenomeno ed è fortemente dipendente dalle caratteristiche della materia fisica in cui l'onda si propaga. Essa è il rapporto tra lo spazio percorso dall'oscillazione e il tempo impiegato per coprire questo percorso. La relazione che lega la lunghezza d'onda, la frequenza e la velocità di propagazione è la seguente. Mi scuso per l'introduzione di una formula matematica in un contesto di semplificazioni teoriche ma, vi garantisco, è una relazione molto semplice ed elegante :

$$u = \lambda \cdot \nu \quad (1.05)$$

La formula ci dice che, se moltiplichiamo la frequenza (ν) per la lunghezza d'onda (λ) di un fenomeno oscillante qualsiasi, otteniamo sempre la velocità di propagazione dell'oscillazione (u). Questo fatto è molto importante, poiché consente di ricavare una delle tre grandezze conoscendone le altre due. Vedi a tal proposito anche il modulo successivo.

Supponiamo per esempio, di voler studiare un'oscillazione acustica. Analizzando il suono prodotto dalla corda di un violino avente una frequenza di 1000 Hz, possiamo facilmente calcolare la lunghezza d'onda di questa oscillazione nell'aria. Essa, come abbiamo detto, risulta essere la distanza fra i due picchi, oppure anche dei due ventri, dell'onda. Infatti, sapendo che il suono si propaga nell'aria ad una velocità di circa 340 metri al secondo applicando la formula n. 1.05 ricaviamo facilmente:

$$\lambda = \frac{u}{\nu} = \frac{340}{1000} = 34\text{cm}$$

Questo significa che, se potessimo vedere l'oscillazione prodotta nello spazio dalla corda del nostro violino, i picchi o i ventri dell'onda generata dalla corda sarebbero localizzati ad una distanza costante di 34 cm.

Ma il suono è soltanto uno degli esempi che la natura è in grado di generare quando produce delle oscillazioni. Poiché l'oscillazione come abbiamo detto è l'espressione della propagazione dell'energia e visto che l'energia può presentarsi in forme molto diverse, esiste un enorme numero di manifestazioni in cui il fenomeno oscillante può presentarsi ai nostri sensi. Tramite i laboratori di questo modulo, mostreremo quindi diversi tipi di esempi con i quali un'oscillazione si propaga.

LABORATORI

Introduzione

La struttura di questo laboratorio si discosta leggermente da tutti gli altri presentati in questo testo. Lo sviluppo dell'intera sessione è totalmente dedicato alla fisica delle oscillazioni rifacendosi all'espressione più ampia di autentica didattica modulare. In tal senso, i laboratori di questo modulo mostrano tutta una serie di sperimentazioni effettuate per conoscere e comprendere il concetto che si trova alla base dell'origine delle oscillazioni. I vari casi sperimentali sono di conseguenza divisi in base al fenomeno energetico via via studiato. In ogni caso, lascio comunque la libertà di scegliere le sperimentazioni più idonee o possibili da effettuare. Voglio assicurarvi che da questo laboratorio potete trarre spunto per effettuare lezioni molto suggestive che ho personalmente sperimentato nei confronti di platee più diversificate: dalla scuola media fino ad arrivare ad un pubblico adulto. Avendo comunque premura di alleggerire o approfondire i vari argomenti sperimentati a seconda del livello di conoscenza da raggiungere.

Un'idea potrebbe perfino essere quella di realizzare una lezione unica, della durata di circa 2 ore, che si propone di mostrare alla platea le varie occasioni in cui si presentano in natura delle oscillazioni. Per realizzare questo seminario sull'oscillazione devo quindi offrirvi un ventaglio di possibilità pratiche affinché possiate scegliere le migliori. Gli esperimenti si svilupperanno partendo inizialmente dal caso delle oscillazioni acustiche, per poi passare alle oscillazioni meccaniche, fino ad arrivare alle oscillazioni elettriche, luminose e per finire anche quelle chimiche. Quest'ultimo caso presentato, ha mostrato indiscutibilmente una attrattiva molto suggestiva, soprattutto quando l'ho proposto ad un pubblico di allievi più esperti. Ovviamente cercherò di essere più completo possibile, enunciandovi un folto numero di esperienze anche

maggiore di quelle proponibili in una sola lezione. Come già ribadito in precedenza, sarete comunque sempre voi a scegliere quelle più opportune, in base alle situazioni, alle circostanze e ai mezzi a vostra disposizione.

Oscillazioni sonore

In occasione di un seminario sull'argomento tenuto in una scuola media ricordo che iniziai la lezione con una suonata di campanello. Non cominciate però a capire un'altra cosa, ... la porta era già aperta e il bidello mi aveva già gentilmente accompagnato presso la scolaresca. Semplicemente mi servii di una coppa di ottone sorretta da un piedistallo in metallo che percossi con forza utilizzando una matita che avevo in tasca. Il suono delizioso che ne uscì fuori e che attrasse l'attenzione degli scolari, costituì **l'elemento di attenzione** di inizio, dopo il quale si dipanò tutta l'azione formativa successiva.

Cominciamo a descrivere le possibilità sperimentali offerte dalla propagazione delle onde sonore, ricordando inoltre, che il modulo successivo è espressamente dedicato al suono. In tal senso, quindi, potrete trarre da esso ulteriori spunti per le lezioni su questo argomento.

L'industrioso insegnante potrebbe costruirsi con estrema semplicità delle canne a diversa lunghezza. Personalmente mi sono servito di canne smontate da un giocattolo sonoro. È necessario che queste canne siano fatte in modo semplice, presentandosi con geometria cilindrica e avendo una base chiusa. Con queste canne, potrete mostrare ai vostri allievi come l'aria che vi è contenuta può mettersi a oscillare producendo delle emissioni sonore caratteristiche. Soffiandovi all'interno infatti, l'aria comincerà ad andare prima in fondo e poi rimbalzerà di nuovo per uscire dallo stesso foro in cui è entrata e nel fare questo movimento, l'unico modo che l'aria può utilizzare per incontrare meno resistenza è quello di innescare delle oscillazioni con una frequenza particolare che sarà funzione della dimensione della canna. Oggi sappiamo che l'oscillazione che si viene a generare si produce con una lunghezza d'onda pari a 4 volte la lunghezza della canna. A tal proposito, l'immagine n. 2.5, mostra appunto, questo modo di oscillazione dell'aria nella canna. La figura ritrae solamente la prima metà del segnale sonoro sinusoidale prodotto dalla canna.

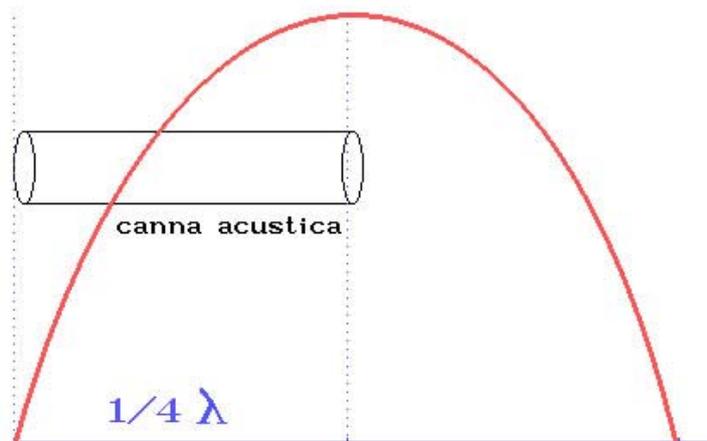


Fig. 2.5 - Risonanza di una canna d'organo ad $1/4$ d'onda -

Questo principio è esattamente lo stesso tramite il quale le canne sonore degli organi che si trovano in alcune chiese possono emettere le loro sonate caratteristiche. Ecco perché tale strumento musicale è dotato di canne a diversa lunghezza. In questo modo esso è in grado di produrre una grande varietà di suoni. Un concetto importante da sottolineare è, quindi, che la lunghezza di una canna sonora è ciò che realmente caratterizza il tipo di nota che essa è in grado di produrre. La canna sonora è quindi un sistema risonante la cui frequenza dipende espressamente dalle sue dimensioni.

Approfittate di questa occasione per parlare dei fischietti o delle trombette. Portate con voi in aula alcuni di questi esempi e descrivete come funzionano.

Sempre per restare nel tema delle oscillazioni acustiche potete mostrare ai vostri allievi un diapason. Oggi è molto facile approvvigionarsi di questo strumento rivolgendosi ad un rivenditore di strumenti o accessori musicali. Il diapason è un oscillatore acustico molto semplice. Esso è fatto in acciaio e comprende un profilo ricurvo a "U" dotato di dimensioni opportune. Ogni diapason, a seguito delle sue dimensioni, è in grado di oscillare con una frequenza caratteristica che si mantiene sufficientemente costante e precisa nel tempo. Per farlo funzionare basta percuoterlo con un martelletto in legno. La foto successiva mostra un diapason da 440 Hz con la sua classica forma ad "U". I prolungamenti di acciaio che costituiscono il diapason si chiamano rebbi.



Avendo a disposizione due diapason tarati alla stessa frequenza, si possono realizzare in aula interessanti esperienze di risonanza. Mettendo infatti in oscillazione uno dei due strumenti, e ponendo l'altro ad opportuna distanza (alcuni millimetri), dopo alcuni istanti si vedrà quest'ultimo cominciare ad oscillare a sua volta, sollecitato dalle oscillazioni sonore prodotte dal modello gemello. Nell'allegato relativo a questo modulo ci sono delle informazioni aggiuntive molto interessanti che approfondiscono ulteriormente questo argomento.

Un altro semplice esperimento, che potete fare anche in aula di teoria, richiede un diapason da 440 Hz e tre cilindri di vetro alti una ventina di centimetri. Disponete i tre cilindri in fila e riempite i primi due di acqua, facendo attenzione che nel primo la superficie dell'acqua sia precisamente ad un livello pari a 19 cm di distanza dalla bocca del cilindro, nel secondo possiamo porla a 15 cm e il terzo resterà invece vuoto.

Un altro semplice esperimento, che potete fare anche in aula di teoria, richiede un diapason da 440 Hz e tre cilindri di vetro alti una ventina di centimetri. Disponete i tre cilindri in fila e riempite i primi due di acqua, facendo attenzione che nel primo la superficie dell'acqua sia precisamente ad un livello pari a 19 cm di distanza dalla bocca del cilindro, nel secondo possiamo porla a 15 cm e il terzo resterà invece vuoto.

Fig. 3.5 - Un diapason -

Prendete un diapason e fatelo oscillare percuotendolo con una matita in legno. Avvicinate il diapason a pochi millimetri dalla bocca dei cilindri effettuando questa operazione in sequenza per ciascuno dei cilindri che avete preparato. Vedrete che il suono sarà rinforzato solo quando avvicinate il diapason al cilindro in cui l'acqua si trova alla distanza di 19 cm. Questo esperimento, verifica quello che stavamo dicendo a proposito delle canne risonanti. Infatti, la misura pari a 19 cm, risulta essere giusta $\frac{1}{4}$ della lunghezza d'onda di un diapason a 440 Hz.

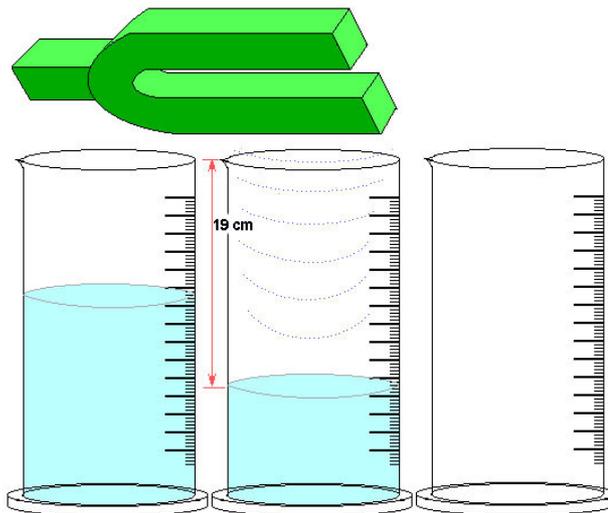


Fig. 4.5 - Risonanza acustica di una cavità ottenuta tramite cilindri di vetro riempiti con semplice acqua -

Sempre in tema di oscillazioni sonore, ecco un semplice esperimento per la scuola elementare, fatto per attirare l'attenzione della vostra scolaresca durante una lezione in cui parlate delle oscillazioni o del suono. Prendete quindi un bicchierino di plastica e praticate al centro del fondo un foro molto piccolo. Introducete all'interno del foro un filo di spago sottile e annodate l'altro capo ad un cucchiaino di metallo.



Se percuotete il cucchiaino e poggiate l'orecchio al bordo del bicchiere sentirete, le oscillazioni acustiche che faranno vibrare la corda, darvi l'impressione di sentire il suono di una campana. Il risultato è più marcato se fate uso di due bicchierini posti ognuno su ciascun orecchio collegati da uno stesso filo al centro del quale verrà connesso il cucchiaino d'acciaio.

Fig. 5.5 - Suono di una campana ottenuto con un cucchiaino, un filo ed un bicchiere di plastica -

Oscillazioni Meccaniche

Il pendolo è un classico oscillatore meccanico ed è molto semplice mostrarne ai vostri allievi le oscillazioni. Non mi dite infatti, che non riuscite a trovare un poco di spago e un qualsiasi corpo pesante da mettere alla sua estremità. Se volete organizzarvi alla grande, potete acquistare un filo a piombo da un ferramenta oppure creare da voi qualcosa di simile. L'importante è mostrare ai vostri allievi come oscilla il pendolo e soprattutto elencarne le leggi fisiche. Se questa lezione la state proponendo ad un pubblico di studenti di scuola primaria non è strettamente necessario che scriviate la formula di oscillazione del pendolo. Ma credo sia indispensabile dire che la frequenza del pendolo dipende fortemente dalla sua lunghezza e dalla forza di gravità che esiste alla vostra latitudine. Intanto, per dimostrare subito che la frequenza del pendolo dipende dalla lunghezza del filo, procedete in questo modo: fate oscillare un pendolo davanti ai vostri discenti assicurandovi che il filo abbia una lunghezza di circa 1,5 metri o anche un poco di più. Se siete dei tipi bassi non c'è problema, basta alzare il vostro braccio e tenerlo ben teso. Assicuratevi inoltre che i presenti acquisiscano perfettamente il periodo di oscillazione del pendolo in quelle condizioni. Con un'abilità da prestigiatore, immediatamente, mentre il pendolo sta compiendo le sue oscillazioni, prendete il filo giusto alla metà e stringetelo fra il pollice e l'indice con mano ferma e precisa. Tutti i vostri allievi si accorgeranno che il periodo di oscillazione del pendolo è diventato molto più breve. Quest'aumento di frequenza del vostro pendolo è spiegato molto chiaramente dal fatto che avete ridotto la dimensione del filo che teneva in oscillazione la massa pendolare di conseguenza, a riduzione di lunghezza corrisponde riduzione di periodo di oscillazione. Non credo vi sarà altrettanto facile dimostrare che la frequenza dipende anche da un'altra condizione e cioè dalla gravità. In effetti, se la forza di gravità fosse più elevata il pendolo oscillerebbe con maggiore frequenza. Ma per verificare questa condizione è necessario un apparato sperimentale molto più complesso, e tutto questo esula dal nostro corso di studio.

Sempre per restare nel tema delle oscillazioni meccaniche, voglio ricordarvi che anche una semplice corda lunga alcuni metri, può offrirvi l'occasione di mostrare in aula, come si propagano le onde. Un giorno, durante una lezione in una seconda media, provai ad effettuare una semplice dimostrazione utilizzando una corda alla quale avevo fissato un capo alla maniglia della porta della stanza. Tenendo l'altro capo della corda stretto fra le mani, lo cominciai a percuotere per produrre delle oscillazioni che riuscì a far propagare lungo tutta la corda. Fu un'esperienza che ricordo con un certo piacere, forse non solo per l'aspetto didattico, che mi permise di mostrare le leggi della propagazione delle onde nei corpi elastici ma, certamente, anche perché quel giorno durante la prova, l'ingresso improvviso ed imprevedibile del bidello, creò una originale condizione di divertimento generale.

Anche il dispositivo illustrato nella figura n. 6.5 può essere adoperato per studiare la propagazione di un'oscillazione meccanica. Questo dispositivo è in grado di mostrare come un urto meccanico si trasforma in onda e si trasmette lungo tutto il sistema.

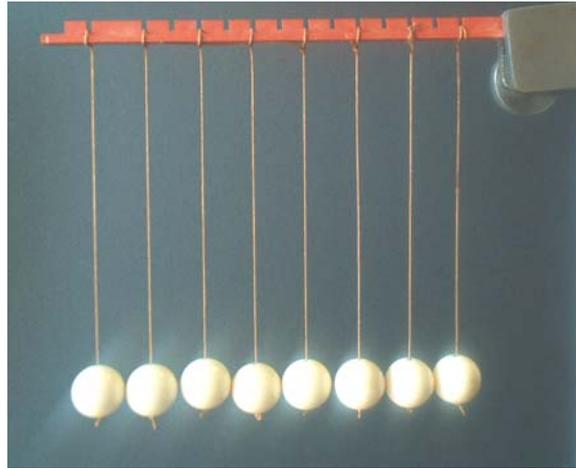


Fig. 6.5 - “Le biglie di Newton” strumento ottenuto tramite semplici palline di plastica -

In pratica l'apparecchio, che risulta essere conosciuto con il nome “**Le biglie di Newton**”, consiste in una serie di palline, che possono essere di metallo oppure di plastica dura. Ognuna di queste è sorretta da una cordicina di una lunghezza tale da tenerle tutte alla stessa altezza. È facile trovare questo semplice strumento nelle vetrine di negozi che vendono oggettistica da regalo. Questi oggetti, hanno un costo non sempre conveniente ecco perché può essere un'idea molto redditizia costruirne uno servendoci di materiale di risulta.

Non voglio risultare monotono a dirvelo, ma anche questa volta, una vecchia collana in disuso con le sue belle palline già forate, sembra fatta apposta per questo scopo. “Pensate che un giorno mia moglie mi disse che, per realizzare i miei giocattoli (come ebbe modo di definirli), non avrei esitato ad utilizzare perfino una collana di perle se caso mai, ella, ne avesse avuta una. Comunque, a parte gli scherzi ascoltatevi attentamente”.

Le palline di una vecchia collana, poiché provviste di foro risultano idonee per realizzare l'apparecchio. L'importante è che abbiamo una dimensione opportuna ed una certa consistenza.

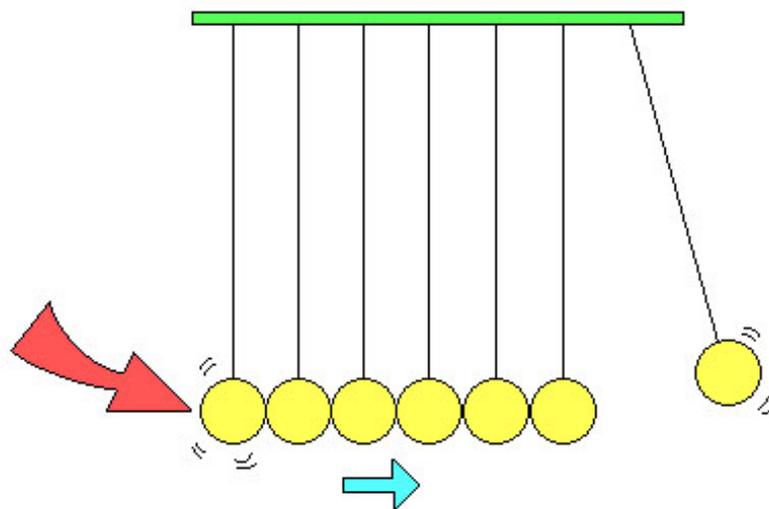


Fig. 7.5

Procuratevi quindi le palline, il filo necessario e un supporto in legno, in plastica o altro, al quale appendere le palline e sul quale è opportuno incidere delle tacche. Questi incavi, devono essere realizzati ad intervalli spazati in modo preciso. È condizione perentoria per il corretto funzionamento dell'aggeggio, che le palline in posizione di riposo, si tocchino.

Ponendo l'apparecchio in orizzontale e aspettando che tutte le palline siano perfettamente ferme, potete osservare subito il funzionamento del dispositivo. Sollevando la prima pallina e lasciandola cadere verso le altre, osserverete che mentre tutte le palline restano ferme l'ultima pallina si solleverà ad una certa altezza. Se provate a sollevare due palline per volta e le lasciate cadere in modo preciso sul restante gruppo, vedrete che dal lato opposto si solleveranno questa volta due palline anziché una.

Questo dispositivo è anche utilizzato per dimostrare i principi fisici legati all'urto fra i corpi, la conservazione della quantità di moto ecc. Noi però, in questo caso, lo mostreremo ai nostri allievi unicamente con l'intento di dimostrare loro, la propagazione dell'energia. Diremo, che l'energia meccanica che rilascia la pallina che solleviamo, quando colpisce la prima pallina del gruppo, viene propagata lungo la direzione delle restanti palline come un'onda elastica. Quando l'energia raggiunge l'ultima pallina, si riconverte in impulso e permette a quest'ultima di sollevarsi.

Nota per insegnanti di scuole superiori:

Durante lo studio della propagazione di un'onda elettromagnetica in una linea elettrica, spesso ci si imbatte nel fenomeno dell'onda stazionaria. Vorrei ricordare che questo fenomeno è importantissimo. Esso si verifica anche nei moderni circuiti ottici per telecomunicazione. Ovviamente in questo caso il fenomeno interessa la radiazione luminosa. Il fenomeno dell'onda stazionaria è caratteristico dei processi di propagazione ondosa e dipende dalla condizione di disadattamento d'impedenza dei circuiti di linea. In questi casi, infatti, le oscillazioni prodotte dal trasmettitore rimbalzano sul carico e tornano indietro innescando il processo che viene chiamato "**regime di onde stazionarie**". Il sistema delle palline offre indubbiamente un'occasione propizia per mostrare questo effetto in aula. Infatti, quando l'ultima pallina si appresta a saltare, se essa viene tenuta con la mano, in qualche modo noi sottraiamo energia al sistema.

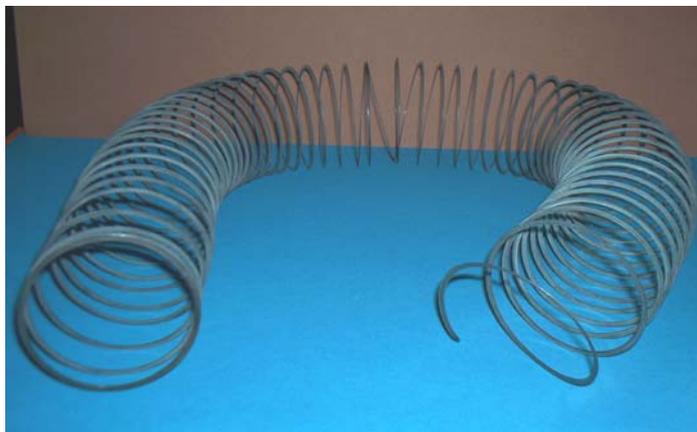


Fig. 8.5 - Molla metallica per osservare la propagazione ondosa -

In questo caso è come se avessimo effettuato una specie di adattamento di impedenza. In caso contrario, la pallina, ritornando ad urtare le altre palline del gruppo, restituisce parte dell'energia che ritornerà all'indietro lungo le restanti palline e farà sollevare, anche se di poco, la pallina iniziale. Per dimostrare ancora meglio il fenomeno, vi consiglio di procurarvi una molla metallica molto lunga che potete trovare in commercio. La molla, che può essere acquistata anche in un negozio di giocattoli, si presta molto bene per effettuare le più diversificate esperienze di trasmissioni meccaniche di impulsi di onde. Posso garantirvi che con un poco di buona volontà con questi semplici sistemi, potete dimostrare l'esattezza delle vostre formulazioni analitiche sulla teoria della propagazione.

Oscillazioni Elettriche

Per ottenere in aula delle onde elettriche, in modo da dimostrare ai vostri allievi che anche questa forma di energia può manifestare oscillazioni, potrebbe essere sufficiente disporre di quei generatori di segnale presenti in alcuni laboratori di Istituti tecnici o professionali. Si tratta tuttavia di apparecchiature costose e non semplici da utilizzare. In questo caso voglio mostrarvi un circuito elettronico che potete realizzare direttamente da voi o far realizzare da un vostro amico tecnico elettronico. "Non fate quella faccia..." Nonostante l'indubbia difficoltà realizzativa, non posso esimermi dal presentavi questi lavori pur rendendomi conto che purtroppo richiedono un impegno tecnico non banale. Se non avete troppa dimestichezza con l'elettronica potete farlo realizzare da qualcun altro. Quello che conta è che i vostri ragazzi vi vedano padroni dell'uso dell'apparecchio.

Seppur laborioso nella sua costruzione, quello che sto per farvi realizzare è un simpatico oscillatore elettronico che progettai la prima volta nel 1975. Poiché in quella data non avevo un becco di un quattrino ... (ecco perché mi sento così giovane ... è la stessa identica sensazione che provo anche adesso) il circuito è realizzabile con una spesa molto modica.



Fig. 9.5 - Come si presenta l'oscillatore elettrico (elettronico) montato -

Non fatevi impressionare dalla figura, il circuito è semplicissimo, usa appena due componenti elettronici e una doppia bobina di filo conduttore isolato che potete costruire con molta facilità.

Si parte da un cilindro di cartone molto simile a quelli usati per avvolgere la carta igienica (è proprio quello). Si avvolgono ben serrate circa 90 spire di filo di rame smaltato da 1 mm di diametro. Alla fine di questo lavoro abbiamo già realizzata la bobina L1. Sopra a questo avvolgimento, si deve sistemare la bobina L2, avvolgendo circa 50 spire di filo di rame sempre smaltato da 0,5 mm di diametro. Un elettronico sa certamente che le terminazioni del filo smaltato devono essere grattate prima di tentare di saldarlo a stagno. A questo punto se osservate lo schema del circuito riportato in fig. 10.5, vi accorgete che dovete collegare un terminale della bobina L2 al piedino di base del transistor tipo AC128 (vi assicuro che il circuito funziona anche con molti altri tipi di transistori). L'altro terminale della bobina L2 deve invece essere connesso al piedino di emettitore dello stesso transistor e contemporaneamente al terminale di un altoparlante del tipo di quelli smontabili da un vecchio stereo (l'importante che sia di impedenza pari a 8 ohm e di almeno 3 W). L'altro terminale dell'altoparlante deve essere collegato al positivo di una batteria di alimentazione (vedi figura 10.5).

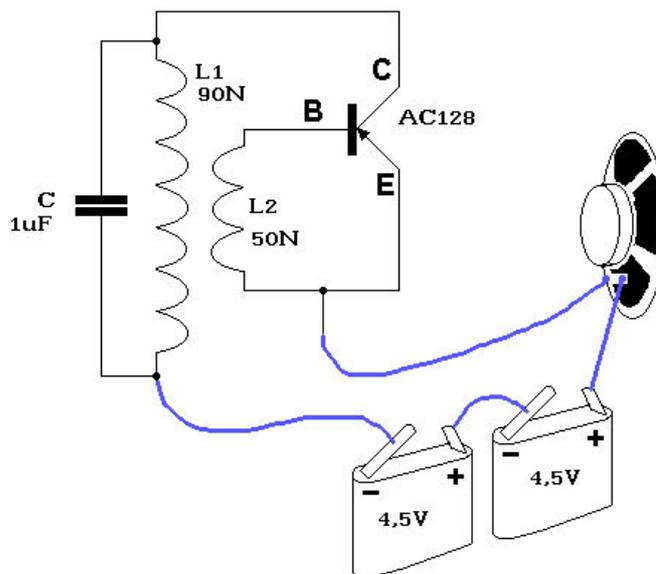


Fig. 10.5 - Schema elettronico del circuito -

Il piedino di collettore del transistor deve essere collegato alla bobina L1 e l'altro capo di questa bobina potrà essere connesso al negativo di batteria. Avrete certamente notato che in parallelo alla bobina L1 è collegato un condensatore da 1 microfarad tipo ceramico o anche a carta. Dovete stare molto attenti a realizzare la seconda bobina L2, avvolgendo il filo nel verso opposto a quella principale L1. Quindi, se avvolgete la bobina L1 in verso orario, la bobina L2 sarà avvolta in senso antiorario. Nel caso che il verso della seconda bobina non è corretto potete sempre invertire i due terminali prima di saldarli ai piedini del transistor. Ebbene se il circuito funziona correttamente dovrete sentire nel vostro altoparlante un sibilo molto acuto. Questo sibilo è la prova che il circuito che avete realizzato sta costringendo il flusso degli elettroni che scorrono lungo il circuito elettrico ad oscillare ad una frequenza di circa

15.000 volte al secondo. Attenzione, il progetto che vi sto illustrando è fedele al circuito originale che ho realizzato. Per ragioni didattiche, preferii sincronizzarlo proprio vicino alla frequenza massima udibile. Pertanto potrebbe capitare che la vostra realizzazione possa oscillare ad una frequenza troppo alta e quindi non avvertibile quando collegate l'alimentazione. Per essere sicuri del funzionamento potete introdurre all'interno della bobina un bullone metallico (ferromagnetico) in modo da ridurre la frequenza (vedi più avanti) oppure aumentate il numero delle spire delle due bobine proporzionalmente (per esempio raddoppiatele), in modo da costringere il circuito a lavorare ad una frequenza più bassa.

Se siete dei fisici o degli ingegneri potete eventualmente anche accennare al funzionamento del circuito. Ma, se vi state rivolgendo ad un gruppo di studenti di scuola primaria, dovete adoperare le parole giuste. **Per esempio potete dire che la batteria di pile che avete inserito nel circuito, costringe la corrente a fluire da un polo all'altro con continuità passando nel circuito costituito dalla bobina di filo. Però, nel circuito è presente un dispositivo elettronico a tre terminali, chiamato transistor. Questo componente è stato inserito in un modo opportuno per controllare il flusso primario di questa corrente. Allo stesso tempo è stato realizzato un espediente che utilizza le stesse bobine di filo. Grazie a questo accorgimento circuitale, il transistor, senza accorgersene, è costretto a invertire continuamente il flusso di corrente nella bobina realizzando una oscillazione. Di questa oscillazione di corrente noi non potremo mai accorgercene visivamente, i nostri sensi non ci permettono di vedere gli elettroni nel filo. In alcuni casi, potremo servirci di un sofisticato dispositivo di analisi elettronica (un oscilloscopio per esempio). Per evitare l'impiego di questo apparecchio, abbiamo trovato un utile e ingegnoso espediente. In serie al circuito, dove la corrente inverte continuamente il suo moto, abbiamo inserito un altoparlante. In questo modo, poiché l'altoparlante trasforma le oscillazioni della corrente in suoni, riusciremo a sentire le oscillazioni che si generano e che non possiamo vedere.** Se fra i lettori vi è un tecnico elettronico, questi si sarà certamente accorto di un modo d'esprimersi veramente poco canonico. Quello che conta però è che il concetto penetri correttamente nella mente dell'ascoltatore. Qualcuno potrebbe anche eventualmente pensare che la descrizione del funzionamento del circuito è irrilevante; il che potrebbe risultare anche vero per talune platee di ascoltatori, ma per altri tipi di fruitori la descrizione fisica (sia chiaro non elettronica), è l'essenza stessa del concetto che riguarda l'oscillazione elettrica. L'ascoltatore deve comprendere che nel sistema che facciamo funzionare, il suono che ne viene prodotto è il risultato di una oscillazione di corrente elettrica, che come voi sapete, è a sua volta il risultato di una oscillazione di particelle piccolissime chiamate elettroni. Queste particelle sono quelle che circolano veloci nei fili colorati del circuito che avete realizzato. Ritengo quindi importanti queste precisazioni sul funzionamento del dispositivo in modo da attirare l'attenzione della platea su questo fatto.

Per completare la vostra dimostrazione, munitevi di un grosso bullone di acciaio e inseritelo all'interno del cilindro di cartone proprio all'interno delle bobine. Sentirete il suono diventare molto meno acuto ma probabilmente più forte. Questo fatto accade poiché il bullone, essendo costituito da materiale ferromagnetico, con la sua presenza, modifica un parametro elettronico del circuito. Questo parametro influenza la frequenza di oscillazione del circuito

facendola variare. Il parametro in gioco è l'induttanza della bobina L1 la quale può aumentare per due principali motivi; sia se introduciamo al suo interno un materiale ferromagnetico, sia se accresciamo il numero delle spire di questo avvolgimento. La frequenza di oscillazione del circuito, dipende però non solo dal numero delle spire della bobina L1, ma, anche dal valore del condensatore C posto in parallelo alla stessa bobina. Prima di terminare l'argomento, voglio ricordarvi una cosa fondamentale. Il circuito è progettato per funzionare per pochi minuti, quindi non insistete troppo. Eventualmente fatelo riposare qualche minuto e poi lo rimettete in funzione. Per non far riscaldare troppo il transistor potete anche adoperare una sola batteria da 4,5 V anziché due. Non mi sono mai preoccupato di questa limitazione del mio aggeggio, poiché durante una normale lezione, lo strumento deve funzionare solo pochissimi minuti. Lo schema che vi ho fornito, e che rappresenta l'oscillatore illustrato nella figura 9.5, funziona correttamente nel mio laboratorio ormai da più di 20 anni.

Oscillatore elettromagnetico

L'oscillatore elettromagnetico che intendo presentarvi è comunque catalogabile fra gli oscillatori di tipo elettrico. Questo dispositivo infatti, è per molti versi simile a quello già visto nel paragrafo precedente, essendo anch'esso costituito da un circuito oscillante realizzato tramite una bobina e un condensatore. In sostanza ciò che cambia è la potenza prodotta dal circuito e soprattutto la sua frequenza di oscillazione. Il circuito precedente infatti, oscillava ad una frequenza di 15.000 Hz, quindi 15.000 oscillazioni ogni secondo. Questo circuito oscilla ad una frequenza superiore a 2.000.000 Hz, quindi due milioni di oscillazioni ogni secondo. Con una frequenza così elevata si possono dimostrare fenomeni molto interessanti.

Diciamo subito che, quando le oscillazioni elettriche raggiungono tali livelli di frequenza, esse non restano localizzate all'interno del circuito. I campi magnetici ed elettrici che si manifestano attorno ai fili conduttori del circuito, e soprattutto in prossimità della bobina e del condensatore, si propagano oltre i confini del circuito stesso. Il fenomeno oscillante viene quindi avvertito anche ad una certa distanza dal circuito. Ovviamente, per raggiungere tale scopo dobbiamo allestire un particolare dispositivo di rilevazione che collocheremo ad una certa distanza dall'oscillatore elettromagnetico. Questo è in pratica quello che nel 1887 il fisico tedesco Rudolph Heinrich Hertz (1857-1894) riuscì a dimostrare tramite l'uso di dispositivi oscillatori dotati di analoghe funzioni.

Tramite infatti, un meccanismo progressivo, una variazione di campo magnetico nello spazio produce a sua volta una variazione di campo elettrico. Quest'ultima, in risposta produce un'altra variazione di campo magnetico localizzata ad una certa distanza dalla prima. Il fenomeno quindi, si ripete ancora e si propaga sottoforma di un'onda, chiamata onda elettromagnetica.

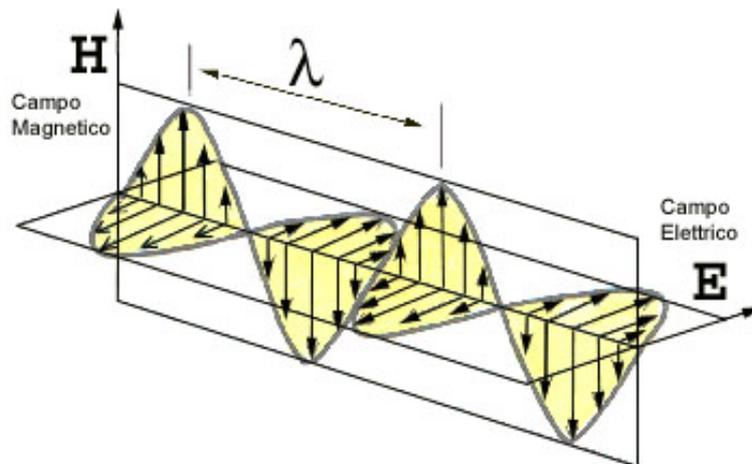


Fig. 11.5 - Oscillazione elettromagnetica -

Successivamente, nel 1895, un grande italiano di nome Guglielmo Marconi, sfruttò proprio queste onde per la comunicazione di segnali a grande distanza dando così inizio all'epoca delle comunicazioni "senza fili", ovvero le comunicazioni via radio. Il dispositivo che intendo presentarvi è proprio un generatore di onde radio dalle caratteristiche strabilianti che permettono ad un docente di fisica o di elettronica di ottenere effetti plateali molto suggestivi.

Tale dispositivo, in più di una occasione mi ha permesso di dimostrare egregiamente, le proprietà delle onde elettromagnetiche e il fenomeno della propagazione delle onde radio in tutti gli incontri o nei seminari realizzati per questi scopi. Esso rappresenta per me anche qualcosa di più di un semplice apparato sperimentale e mi provoca una certa emozione ricordarne la realizzazione nei confronti della quale mi istruì proprio il famoso Ing. Giacomo Giuliani (vi ho già parlato di lui) accompagnandomi nelle fasi di progettazione e di montaggio per consentire all'apparecchio di svolgere la sua azione didattica nelle migliori condizioni operative.

Ma vediamo come funziona il prototipo di questo circuito, che presento in una versione per certi versi, estremamente spartana e povera di abbellimenti, che invece la versione originale, che si trova nell'Istituto "Giacomo Giuliani" di Maddaloni (CE), invece possiede.

Faccio subito presente che nella descrizione troverete un certo tipo di linguaggio tecnico. Chi lo desidera, può eventualmente saltare i successivi periodi, rifacendosi eventualmente alla fine del percorso descrittivo e leggere gli aspetti operativi della macchina. Come ho sempre detto più volte negli altri moduli di questo testo, non è necessario che il docente conosca in dettaglio il funzionamento del dispositivo, l'importante che possa renderlo funzionante con la massima padronanza operativa. È evidente che il tecnico che lo realizzerà dovrà necessariamente conoscere gli aspetti che tratteremo da questo punto.

Descrizione del circuito

Veniamo dunque alla descrizione dell'oscillatore. Anche in questo caso, come ho fatto intendere nel paragrafo precedente, è importante la collaborazione di un amico competente in elettronica. Tale circuito inoltre,

presenta un progetto centrato su di un tubo elettronico (- valvola -), quindi è necessario conoscere le problematiche circuitali relative a questa tecnologia non espressamente avveniristica.

Lo schema mostra un circuito oscillante basato sul classico circuito Hartley. Come potete vedere, esso presenta un induttore "L" e un condensatore "C" connessi in parallelo fra di loro, in pratica, lo stesso circuito LC risonante che è stato impiegato per far funzionare l'oscillatore precedente. La variante che si riscontra in questo caso è la mancanza della bobina di filo supplementare la cui funzione è perfettamente sostituita dall'attacco "r" alla spira n. 5). Anche in questo caso, con questa connessione "r" applicata alla quinta spira, trasportiamo l'informazione elettrica oscillante del circuito LC (che deve essere considerato il cuore del circuito), fino all'elettrodo di controllo del tubo termoionico siglato EL509. Questo tubo, sostituisce come funzionalità, il piccolo transistore adoperato per il circuito precedente. A parte la fragilità di questo componente e ai problemi connessi al consumo di energia e al transitorio di inizio, questo tubo elettronico assolve in modo efficace agli scopi per i quali questo circuito è stato progettato. Il tubo **EL509**, per funzionare correttamente, richiede una tensione continua di 300V, di conseguenza è in grado di produrre oscillazioni di notevole energia. La potenza a radiofrequenza prodotta dal circuito infatti, può anche essere di svariate decine di watt. Purtroppo queste arcaiche tecnologie sono praticamente sconosciute alla maggior parte dei tecnici di oggi, ma vi garantisco, che in alcuni casi (come in questo) esse risolvono molti problemi, rendendo i dispositivi elettronici molto più affidabili in termini di resistenza ai sovraccarichi.

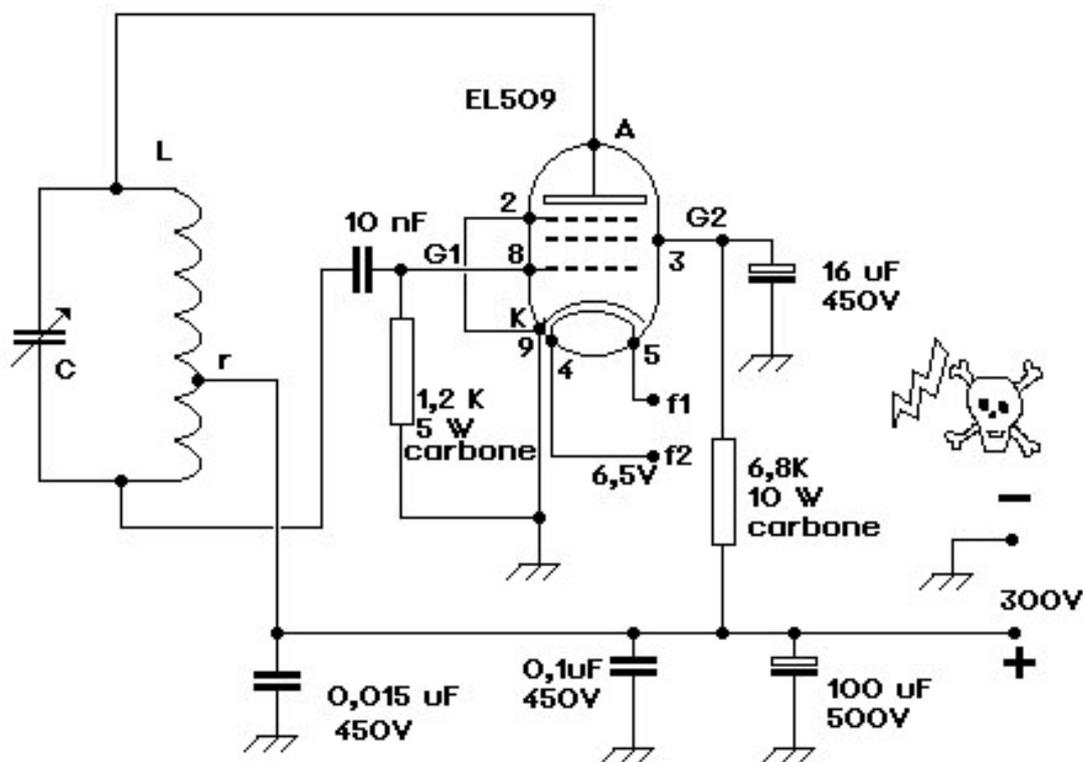


Fig. 12.5 - Circuito elettronico dell'oscillatore ad alta frequenza -

Il circuito non presenta particolari problemi in termini di realizzazione. Il montaggio del prototipo è stato praticato su di un supporto di vetronite isolante opportunamente forato. Su questa base sono stati inserite, nei punti opportuni, le varie boccole necessarie al collegamento con la bobina oscillatrice principale (bobina trasmittente).

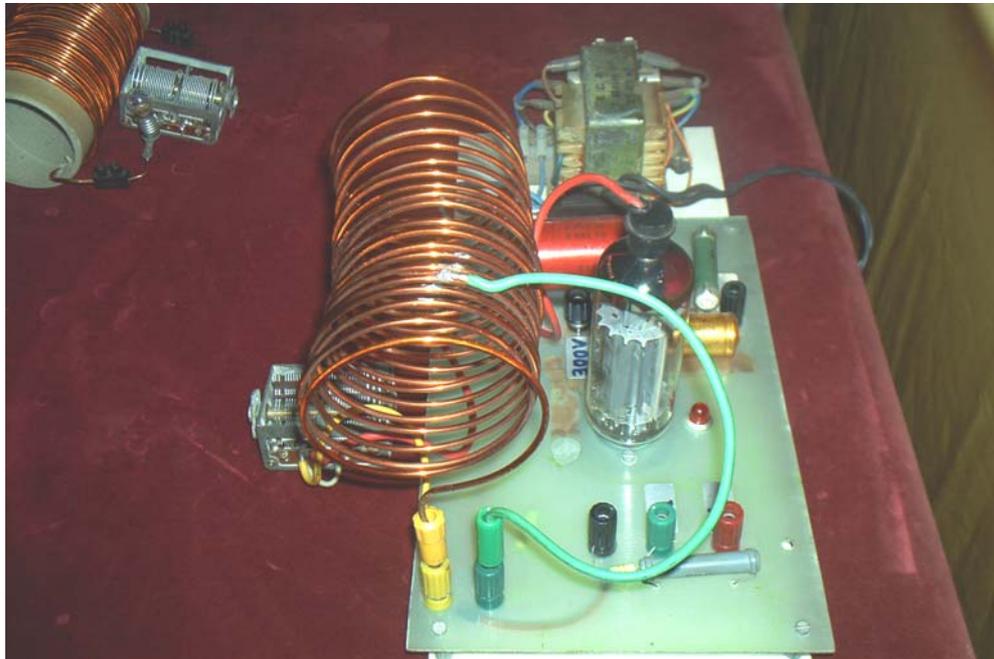


Fig. 13.5 - Oscillatore montato nel quale è visibile la bobina trasmittente -

Questa bobina deve essere installata in modo da risultare accessibile a seguito degli esperimenti che devono essere successivamente prodotti. La foto n. 13.5 mostra appunto il prototipo montato sulla vetroresina di colore verde chiaro. Il tubo elettronico o valvola è collocato al centro del dispositivo. In essa è visibile pure il connettore superiore, posto sulla testa della valvola, che stabilisce il collegamento dell'anodo del tubo elettronico al circuito.

L'anodo della valvola è l'elettrodo che nello schema elettronico è rappresentato con il simbolo "A" e che raccoglie il flusso principale di elettroni pilotando la bobina di radiofrequenza permettendo a quest'ultima di oscillare. La frequenza di oscillazione del circuito è stabilita dal valore dell'induttanza della bobina e dal valore della capacità del condensatore accoppiato ad essa. Come abbiamo detto in precedenza, il valore dell'induttanza della bobina è un parametro legato alle caratteristiche geometriche di quest'ultima. Il numero delle spire e la dimensione di questo componente, influiscono direttamente sul valore di induttanza offerto dalla bobina. Per modificare la frequenza di oscillazione è possibile agire sul valore della capacità del condensatore "C". Quest'ultimo componente è infatti un condensatore ad aria con capacità variabile da pochi pF a 500 pF. Nell'allegato di questo modulo sarà ribadito che la frequenza di oscillazione di un circuito LC è stabilita dalla formula:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Questa formula mostra che più piccoli sono i parametri reattivi del circuito, più elevata è la frequenza che il circuito è in grado di raggiungere. Per una bobina da **7 cm** di diametro, realizzata con **20 spire** di filo di rame smaltato da **2 mm** di diametro, e montando in parallelo a quest'ultima un condensatore da circa **500 pF**, è possibile ottenere una frequenza di oscillazione molto vicina a 2.000.000 oscillazioni al secondo (si scrive **2 MHz**).

L'unico componente elettronico che può presentare problemi di criticità durante le operazioni di messa a punto è il resistore di **1,2 kohm** da **5W** di potenza, che dovrebbe essere del tipo a carbone non induttivo. Questo componente, con il suo condensatore da **10 nF**, costituisce il circuito chiamato "Falla di griglia". Questa rete elettrica serve a limitare la reazione positiva dell'oscillatore contribuendo a rendere stabili e persistenti le oscillazioni prodotte dal circuito. Nel caso questa resistenza dovesse riscaldarsi oltre un certo valore, potrebbe essere opportuno provare con un altro dispositivo equivalente scegliendolo con valori di potenza massima dissipabile più elevati.

Debbo ricordarvi che la valvola, per funzionare, ha bisogno di essere alimentata anche attraverso il circuito di filamento. Questo circuito, deve essere in grado di fornire una tensione di circa **6,3 V**, che deve essere applicata fra i piedini n.4 e n.5 del tubo termoionico **EL509**. L'alimentatore utilizzato per il filamento del tubo, deve poter erogare una corrente di **2,5 A**. Questa corrente è necessaria per accenderlo nelle condizioni ottimali di funzionamento. Il circuito può funzionare anche con il tubo termoionico tipo PL509 ma in questo caso la tensione di filamento deve essere di 12 V. Ci tengo a ribadire che filamento è necessario, poiché è attraverso il calore generato da quest'ultimo, che l'elettrodo catodico del tubo elettronico è in grado di emettere elettroni (emissione termoionica) all'interno della valvola. Questo flusso di cariche negative, sarà successivamente condizionato dai potenziali elettrici collegati agli elettrodi che sono disseminati lungo il cammino, che questi ultimi dovranno percorrere all'interno del tubo. La valvola si comporta come un interruttore elettronico automatico. Tramite l'elettrodo di griglia controllo "G1", connesso al circuito falla di griglia, il tubo innescherà delle oscillazioni persistenti all'interno del circuito oscillante LC. A seguito di queste oscillazioni, la bobina di spire irradierà verso l'esterno la radiofrequenza sottoforma di onde elettromagnetiche. Attenzione, siate molto cauti nel maneggiare il circuito quando esso è in funzione. Tutte le sue parti sono sottoposte ad una tensione elettrica molto alta. Qualsiasi manovra deve essere effettuata a circuito spento e sconnesso dalla rete elettrica. Addirittura (credetemi se vi dico questo), bisogna aspettare alcuni minuti per assicurarsi che i condensatori elettrolitici si siano scaricati del tutto. Altrimenti si rischia di prendere la scossa elettrica anche a circuito scollegato, quindi fate molta attenzione. Ulteriore premura bisogna porre nel maneggiare le parti elettroniche che si riscaldano durante il funzionamento. A questo punto possiamo considerare la descrizione del circuito praticamente terminata. Riguardo la realizzazione del circuito di alimentazione a 300V continui per permettere all'oscillatore di funzionare, lascio la libertà a voi o all'eventuale tecnico collaboratore di scegliere la soluzione che più preferisce e di applicarla al circuito oscillatore. La maggior parte dei laboratori di Fisica scolastici sono dotati di alimentatori a 300 V 2 A perfettamente in grado di sopperire alle esigenze del circuito che abbiamo esaminato.

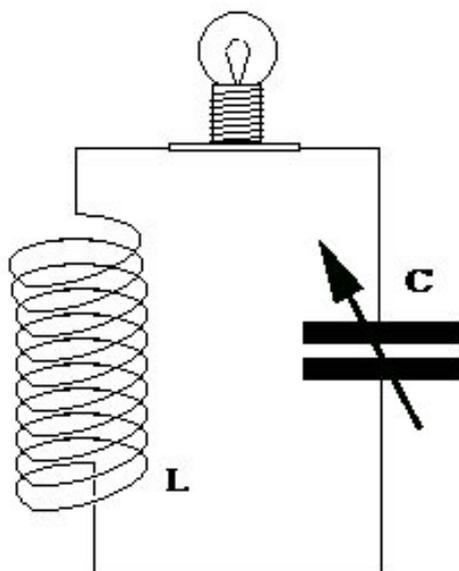
Circuito oscillante rilevatore

Per rilevare le onde elettromagnetiche prodotte dal circuito, sempre grazie a un'idea dell'Ingegnere Giacomo Giuliani, è possibile costruire un circuito LC dotato di una lampadina ad incandescenza collegata in serie. Affinché, il circuito LC rilevatore sia risonante, è sufficiente che abbia gli stessi valori del circuito oscillatore LC che abbiamo sopra descritto. Pertanto è necessario costruire su di un cilindro di cartone di 7 cm di diametro, una bobina identica a quella dell'oscillatore, collegando poi ad essa lo stesso condensatore variabile da 500pF. La foto successiva mostra il circuito di rilevazione, chiamato anche ricevitore.



Fig. 14.5 - Circuito risonante ricevitore con la lampadina da 6 V -

Lo spessore del filo di rame utilizzato per costruire la bobina, ha la giusta solidità, affinché funga anche da telaio rigido, per formare la struttura meccanica di sostegno del circuito. Infatti, piegando di 90° i terminali della bobina è possibile collegare ad essa sia il portalampadina con una lampadina da 6 V 0,2A, che il condensatore variabile da 500 pF. Questo circuito non necessita di particolari messe a punto vista la sua semplicità.



Lo schema elettronico successivo n. 15.5, mostra quello che la figura n. 14.5 illustra fin troppo chiaramente circa la sistemazione circuitale del condensatore variabile, della bobina e della lampadina. Importante notare che la lampadina da 6V è posta in serie al circuito oscillante LC. I parametri induttivi e capacitivi (parametri reattivi) di questo circuito, sono simili ai parametri reattivi del circuito LC dell'oscillatore illustrato in questo paragrafo.

Lo schema elettronico successivo n. 15.5, mostra quello che la figura n. 14.5 illustra fin troppo chiaramente circa la sistemazione circuitale del condensatore variabile, della bobina e della lampadina. Importante notare che la lampadina da 6V è posta in serie al circuito oscillante LC. I parametri induttivi e capacitivi (parametri reattivi) di questo circuito, sono simili ai parametri reattivi del circuito LC dell'oscillatore illustrato in questo paragrafo.

Fig. 15.5 - Schema del ricevitore -

Poiché è sempre molto difficile creare una perfetta similitudine fra i due circuiti, possiamo intervenire tramite il condensatore variabile per realizzare la sintonia fra i due circuiti e renderli risonanti. Cosa significa rendere i circuiti risonanti ? A questo punto, poiché le leggi della fisica presentano delle analogie sorprendenti, vorrei ricordarvi ciò che accade con i diapason. Se un diapason (oscillatore meccanico/acustico) è messo ad oscillare e nei pressi di esso viene posto un diapason con identiche caratteristiche, quest'ultimo comincia ad oscillare a sua volta producendo lo stesso suono che produce il diapason induttore. La stessa e identica cosa, accade se noi poniamo il circuito ricevitore nei pressi dell'oscillatore LC. Naturalmente dovremo assicurarci che il ricevitore sia in risonanza con il circuito oscillante, ma per questo abbiamo già visto che possiamo agire tramite il condensatore variabile. Ma cosa accade di preciso al circuito ricevitore ? Se avete operato nel migliore dei modi, ed il vostro oscillatore funziona correttamente, dovrete vedere la lampadina accendersi di luce vivissima. L'aspetto più suggestivo della questione, scaturisce dal fatto che il circuito ricevitore può essere posto anche a distanza molto elevata dal circuito oscillatore, la lampadina sarà illuminata comunque con sufficiente intensità. Anzi, dovrà essere vostra cura tenere il circuito risonante ricevitore, non troppo vicino al circuito oscillatore LC, per evitare di bruciare la lampadina.

Vi accorgete presto che, allontanando il circuito ricevitore dal vostro oscillatore, la luce della lampadina si farà più fioca fino a spegnersi del tutto. In queste condizioni il circuito ricevitore sta ancora catturando energia elettromagnetica dal vostro oscillatore, soltanto che questa energia non è sufficiente ad accendere il filamento della lampadina. Se amplificassimo il debole segnale che si presenta sui terminali della lampadina, potremo rilevare queste onde elettromagnetiche anche ponendo il circuito ricevitore ad una distanza molto elevata. In teoria, potremo portarlo all'esterno della scuola a distanza di molti metri o addirittura di km. La radio funziona in analogo modo. Nei circuiti interni di una moderna radio, ci sono dei circuiti LC che noi rendiamo risonanti sintonizzandoli sulla frequenza prodotta dalla emittente che vogliamo ascoltare.



Fig. 16.5 - Circuiti accoppiati in risonanza -

Attraverso questo processo di sintonia, permettiamo ai segnali elettromagnetici, prodotti dall'antenna dell'emittente, di essere catturati dai circuiti risonanti presenti all'interno della nostra radio e di essere opportunamente decodificati (demodulati) per poterli ascoltare attraverso l'altoparlante. Il fatto che girando la manopola, o i tasti della sintonia di una radio, riusciamo a selezionare più canali radiofonici, significa che nello spazio intorno alla radio esistono diverse onde elettromagnetiche portanti, ognuna con una specifica frequenza. Solo il canale radio che ha la propria onda elettromagnetica con frequenza perfettamente in risonanza con i circuiti della nostra radio riesce ad essere amplificato e quindi ascoltato. È molto interessante anche introdurre all'interno della bobina oscillatrice, dei tubi contenente gas a basse pressioni. Le onde elettromagnetiche infatti, ionizzano questi gas e li rendono luminescenti. Anche un semplice tubo fluorescente a limite fuori uso (guasto) se introdotto nella bobina può accendersi con una evidente luminescenza.

Tramite questo interessante strumento didattico, potrete dimostrare la presenza delle onde elettromagnetiche, potrete parlare della risonanza, potrete introdurre le prime nozioni sulla conoscenza della radio, potrete mostrare come l'energia viene emessa e catturata per condizioni di risonanza, potrete illustrare fenomeni di eccitazione in un gas, potrete parlare della mutua induzione elettromagnetica, potrete effettuare una lezione innovativa sulla legge di Lenz, ecc. Credo che abbiate perfettamente capito quale aiuto potrà pervenire da una sperimentazione di questo tipo. Inoltre, utilizzando la base principale del progetto, potrebbe essere possibile, in ambito di sperimentazioni pratiche di elettronica nel mondo delle telecomunicazioni, effettuare diversi tipi di circuiti di laboratorio utilizzabili nelle lezioni di pratica.

Oscillatori chimici

Per alcuni di voi quello che sto per dirvi potrà sembrare sorprendente ma, vi assicuro, è assolutamente reale e straordinario. Fra poche righe vi dimostrerò come possiamo facilmente realizzare anche degli oscillatori chimici. Devo dirvi, senza vergogna, che ho impiegato alcuni anni nella ricerca di un sistema chimico idoneo allo scopo senza mai riuscirvi. Finché, nel 1998 ottenni un primo risultato servendomi di un'idea ricavata da un libro molto alternativo di Fritz Albert Popp. In esso si parlava di un sistema oscillante che utilizzava acido citrico, manganese e acido solforico. Dopo svariati tentativi infruttuosi, una notte, inaspettatamente ottenni un risultato sorprendente. Il sistema cominciò ad oscillare. Il liquido all'interno della provetta, grazie alla reazione chimica avviata, cominciò a diventare alternativamente prima arancione e poi incolore. Straordinario, anche se mi accorsi subito che tutto il preparato presentava tuttavia un problema che impediva di proporre al pubblico questo tipo di reazione. L'oscillazione cromatica si verificava con un periodo di diversi minuti che, in alcuni casi, poteva arrivare anche a 30 o 40 minuti, troppo per una lezione. Per tali ragioni fui costretto ben presto ad abbandonare l'esperimento.

Un sistema chimico oscillante deve essere concepito come una reazione chimica che si svolge continuamente promuovendo la creazione alternativa di un certo numero di sostanze. Questa altalena di reazioni chimiche consuma energia e, di conseguenza il sistema andrà verso un lento esaurimento delle attività chimiche per cui il processo ad un certo punto terminerà. Tutto si svolge

proprio come in un pendolo che converte l'energia potenziale in energia cinetica, oscillando fino ad esaurire tutta l'energia disponibile attraverso i vari attriti. Così il sistema chimico produrrà delle reazioni reversibili convertendo continuamente alcuni prodotti di reazione in altri.

Di reazioni chimiche reversibili ve ne sono tantissime, ma di norma, la loro tendenza è quella di fornire determinati prodotti in un senso o nell'altro a seguito degli equilibri termodinamici in gioco. Un oscillatore chimico è invece un sistema in cui avvengono reazioni chimiche lontane dal punto di equilibrio termodinamico con la conseguente oscillazione da reagenti a prodotti e viceversa.

A volte, per spiegare il concetto teorico che si trova alla base di questi principi, mi servo di una bilancia a piatti. Anche se a prima vista può sembrare un paragone banale, esso risulta estremamente efficace. In pratica, posizionando dei pesi molto grandi in uno solo dei piatti della bilancia, quest'ultimo tende ovviamente a spostarsi verso il basso per raggiungere la sua posizione di equilibrio. Questo è il caso di reazioni chimiche che forniscono precisi prodotti di reazioni e quindi la reazione chimica totale assume una direzione termodinamica precisa è stabilita. Tornando alla nostra bilancia, qualora mettessi dei pesi uguali sui due piatti, la bilancia tenderebbe ad assumere una posizione di equilibrio dopo un certo numero di oscillazioni intorno al suo asse centrale. Ed è proprio su questo numero imprecisato di oscillazioni che dopo un certo periodo portano il sistema all'equilibrio che si può trovare l'analogia con un qualsiasi sistema oscillante, quindi anche un sistema chimico.

Le oscillazioni di un sistema chimico possono avere durate anche molto elevate. Pensate che il sistema costituito da acido citrico e manganese del quale vi ho parlato poc'anzi, oscillò lentamente per tre giorni e due notti. Il sistema chimico, che invece ora voglio descrivervi, si esaurisce in 15 minuti ma le sue oscillazioni avvengono molto velocemente con una durata di circa 15 o 20 secondi. Posso assicurarvi che l'esperienza risulta estremamente spettacolare, ma bisogna essere molto precisi a realizzare le porzioni chimiche che vi mostrerò tra breve. Voglio anche dirvi che per quanto riguarda la spiegazione del fenomeno, sarò costretto a toccare qualche inevitabile dettaglio tecnico ed entrare nel merito di alcune reazioni chimiche a carico del sistema.

Realizzazione dell'oscillatore chimico

Questa reazione chimica oscillante è stata realizzata per la prima volta da due scienziati della Galileo High School di San Francisco. Sto parlando del professor Thomas S. Briggs e del professor Warren C. Rauscher. dai quali deriva il nome dell'oscillatore chimico che vi descriverò tra breve comunemente detto **Oscillatore Briggs-Rauscher**.

Innanzitutto bisogna preparare tre soluzioni che chiameremo per semplicità: soluzione (a) , soluzione (b) e soluzione (c), che saranno contenute in bottigliette di vetro scuro da 100 o 150 cc perfettamente etichettate. Insieme ad esse bisogna disporre di un matraccio oppure di un pallone di vetro da 50 cc in cui faremo avvenire la reazione.

SOLUZIONE (A) : 8.6 % di **PEROSSIDO DI IDROGENO** H_2O_2 . Per ottenere questa soluzione dobbiamo diluire **29 ml** di H_2O_2 (acqua ossigenata) al 30 % in un cilindro graduato fino a 100 ml. Per fare ciò mettete nel cilindro i

29 ml di acqua ossigenata e poi aggiungete acqua distillata fino a riempire il cilindro a 100 ml. Può anche essere utilizzato del Perossido di idrogeno 130 Volumi, pari a 39.4 % p/V senza variare di molto la ricetta.

SOLUZIONE (B) : POTASSIO IODATO 0.2 M (acidificato). Per ottenere questa soluzione si devono aggiungere **0.5 ml** di acido solforico H_2SO_4 al 96 % (18M) in 100 ml di acqua distillata. Attenzione non bisogna fare come avete fatto nella soluzione precedente. Vi consiglio di aggiungere prima nel cilindro circa 20 ml di acqua distillata, poi aggiungete i 0,5 ml di acido, prendendoli con una pipetta graduata e poi aggiungere acqua distillata fino a raggiungere circa 30 ml. A questo punto dovete aggiungere **4.3 g** di KIO_3 (iodato di potassio). Dissolvete accuratamente il soluto e aggiungete ancora acqua fino a 100 ml. Se necessario, riscaldare cautamente la soluzione.

SOLUZIONE (C) : AMIDO (starch) **ACIDO MALONICO** e **MANGANESE**. Per realizzare questa soluzione dovete aggiungere a 10 ml di acqua distillata 0.1 g di amido (scaglie). Riscaldare per sciogliere l'amido. Portare a **100 ml** con acqua distillata e bollire per 5 minuti. Aspettare che la soluzione si raffreddi e aggiungere **1.5 g** di Acido malonico $COOH-CH_2 - COOH$ e successivamente **0.4 g** di SOLFATO DI MANGANESE $MnSO_4 \cdot H_2O$. Agitare e sciogliere con cura.

A questo punto disponete delle tre bottiglie nelle quali avete introdotto i tre reattivi, e che avete correttamente siglate con A, B e C. Da questo momento, potete subito ottenere la reazione oscillante. Versate nel pallone di vetro o matraccio, oppure in mancanza di questi ultimi due, anche in un semplice bicchiere, una dose identica dei tre reattivi nell'ordine A, B e C. Dopo pochi secondi dovrebbe iniziare un'oscillazione dal **blu** al **giallo** chiaro quasi trasparente osservabile per circa 10 minuti con frequenza di pochi Hertz. Il fenomeno si manifesta inizialmente tramite una colorazione ambra della soluzione, successivamente, dopo pochi secondi tutto il preparato diventa blu, per poi schiarire nuovamente e dopo pochi secondi ridiventa ancora blu e così via per circa quindici minuti. Inizialmente è buona norma agitare il pallone di vetro in modo da innescare meglio il processo. L'unico piccolo inconveniente da segnalare è che la soluzione (C) deve essere preparata di fresco poiché scade dopo qualche giorno. Tenendola in frigorifero ho ripetuto l'esperienza fino ad un massimo di 15 giorni.

In ogni caso il risultato di questa reazione chimica è qualcosa di veramente caratteristico e attraente. E risulta essere un eccellente esempio utilizzabile in una lezione che potrà essere non solo di chimica, ma anche di fisica, di elettronica o di qualsiasi altra attività teorica che comprenda lo studio delle oscillazioni. Questa esperienza, nel contesto di questo modulo, è indiscutibilmente un esempio tipico di pluridisciplinarietà nella moderna formazione che usa la didattica modulare.

La figura n. 17.5, mostra lo schema ciclico che viene seguito dalle reazioni chimiche che si generano nel pallone di vetro.

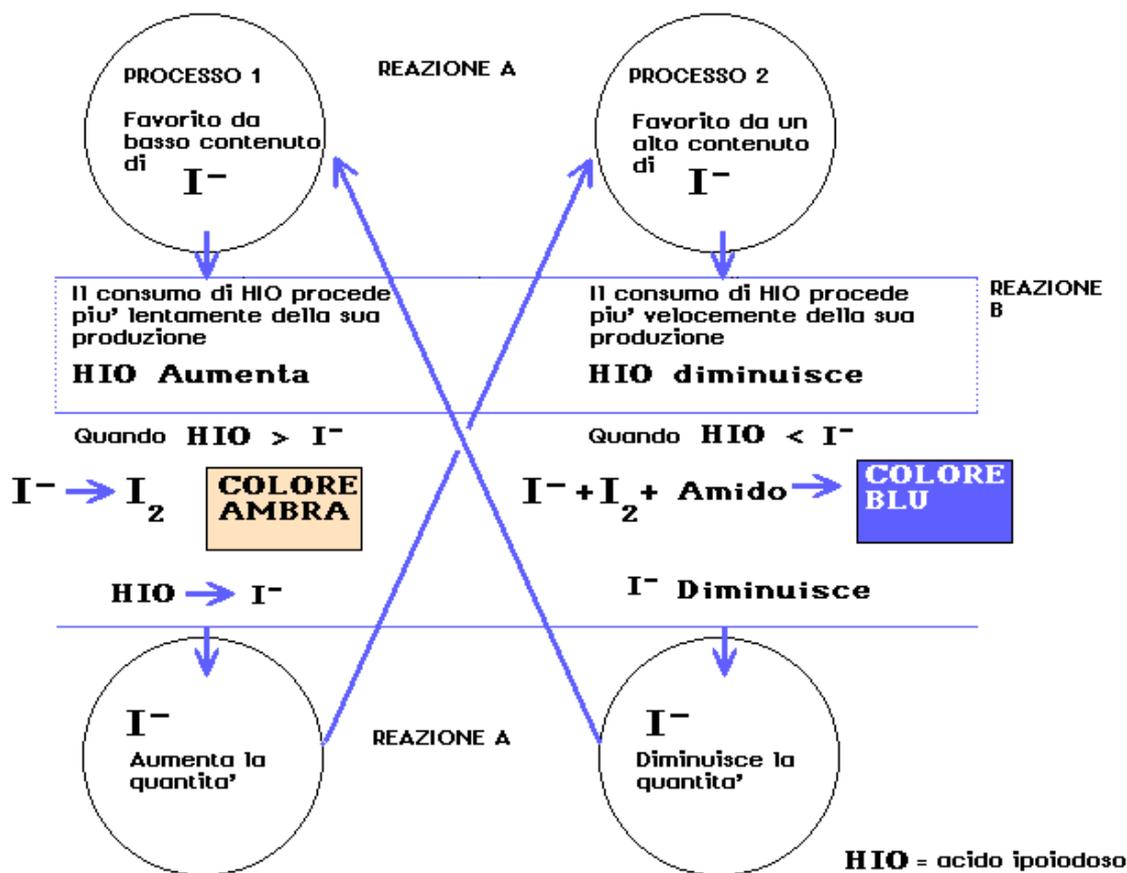
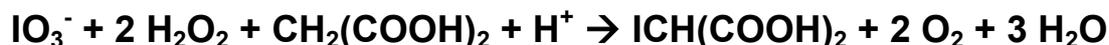


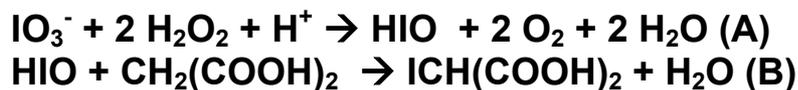
Fig. 17.5 - Alternanza di reazioni chimiche dell'oscillatore chimico -

In pratica tutto dipende dalla quantità dello ione ioduro (I^-). Quando l'acido iodidrico HIO è in quantità più elevate dello ione (I^-) allora il colore della soluzione appare di una tinta ambra poiché lo ione (I^-) si sarà trasformato in I_2 , quando invece l'acido iodidrico HIO è in quantità inferiore rispetto allo ione (I^-) la soluzione appare di un colore blu.

Reazione totale:



Questa reazione si divide in due reazioni



La figura n. 17.5.1 mostra un pallone di vetro al cui interno avviene la reazione. Nel fondo si intravedono le tre bottiglie contenenti le soluzioni di reazione.



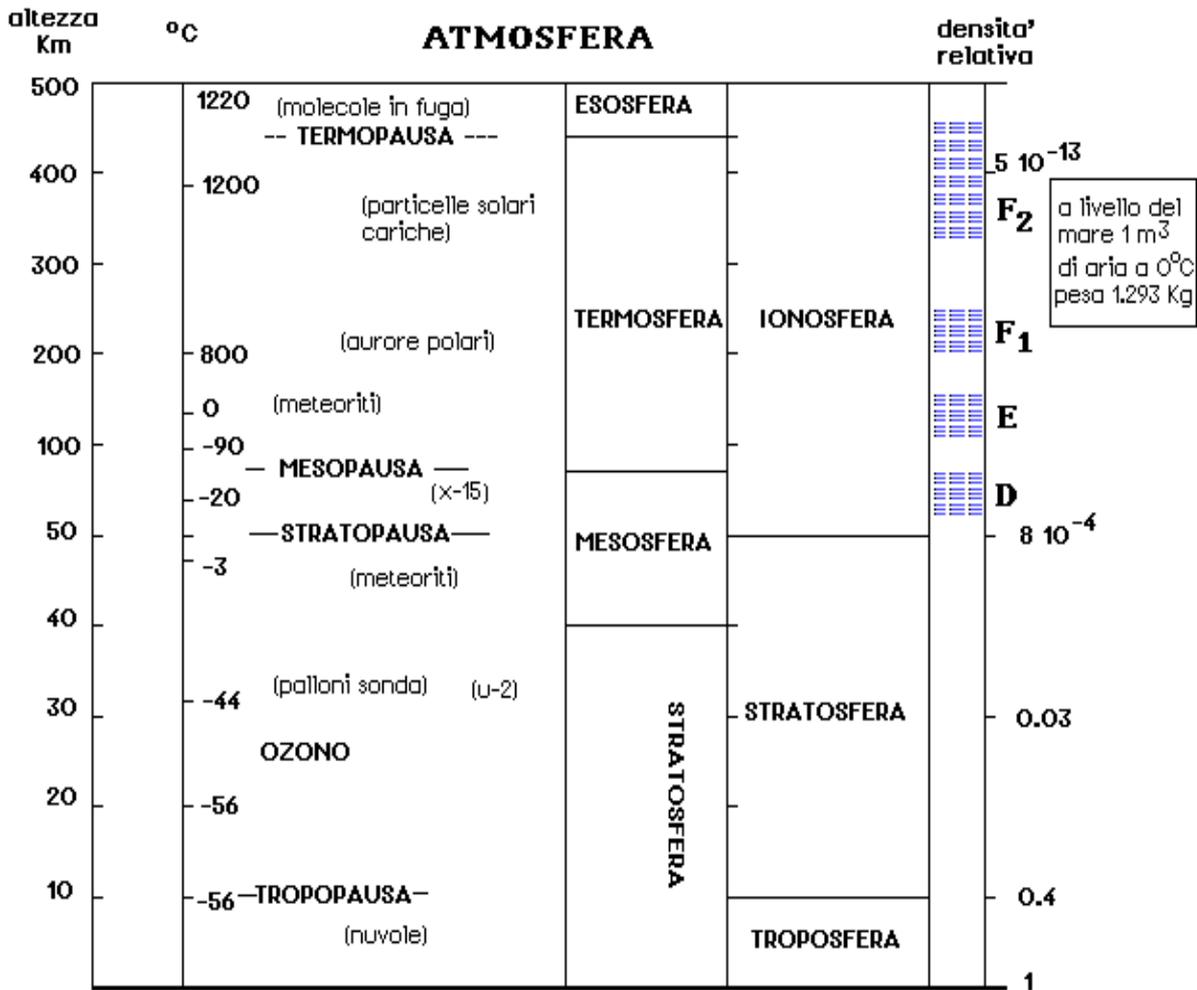
Fig 17.5.1 - Kit dell'oscillatore chimico -

Consigli sui prodotti usati

Immagino vi siate accorti di come la seguente esperienza faccia uso di un numero elevato di prodotti chimici. Purtroppo per procurarseli è necessario rivolgersi ad un rivenditore specializzato. Tuttavia per alcuni di essi, come ad esempio l'amido è sufficiente rivolgersi a qualche negozio di detersivi, così come per l'acqua ossigenata basta rivolgersi ad una farmacia fornita oppure ad un negozio di articoli per il legno o bricolage. Vi avverto che in questo laboratorio lavorate con sostanze abbastanza delicate e nocive. L'acqua ossigenata da utilizzare nella preparazione della soluzione (A) per esempio, è molto concentrata. Se comprate l'intero flacone attenti a dove la riponete e assicuratevi che questo sia chiuso in modo non troppo serrato. Nel senso che eventuali fuoriuscite di ossigeno non devono essere ostacolate da una chiusura troppo ermetica. Non travasate assolutamente l'acqua ossigenata in contenitori non originali. State attenti a non venirci a contatto sulla pelle. Non aggiungete assolutamente l'acqua ossigenata a prodotti organici. Per quanto riguarda l'acido malonico, si tratta di una sostanza nociva se ingerita e questo vale anche per il potassio iodato. Quest'ultimo è un forte ossidante cioè un comburente, quindi state attenti a non portarlo a contatto con liquidi o sostanze infiammabili. Inoltre, non vi dimenticate di eliminare immediatamente il contenuto del matraccio nel quale avete effettuato l'esperimento, poiché il liquido alla fine del processo di oscillazione chimica tende a scuirsi ed a diffondere gas iodio nell'ambiente.

Note 1: Lo stato color ambra dell'oscillatore potrebbe presentarsi con un'intensità molto più tenue di quella indicata. Il colore della soluzione potrebbe anche essere del tutto trasparente. Questo dipende dalla concentrazione dello Iodio. Questo fatto non pregiudica sostanzialmente il funzionamento dell'oscillatore chimico.

APPENDICE:



COMPOSIZIONE ATMOSFERA (in volume)	
AZOTO	78.08%
OSSIGENO	20.95%
ARGON	0.93%
ANIDRIDE CARBONICA	0.03
Neon, elio, kripton, xenon, idrogeno, ozono, anidride solforosa, ammoniaca, ossido di carbonio, ecc.	0.01%

Alcune Grandezze Magnetiche		
1 TESLA	10.000 gauss	
1 Oe oersted	79.577 A/m	1 A/cm = 1,256 Oe 1 A/inch = 0,494 Oe
1 μT	300 V/m	(adattamento)
γ Gamma	1 nT (10⁻⁹ T) (impropria)	10⁻⁵ Oe = 7.95 10⁻⁴ A/m

ALLEGATO:

Oscillazioni acustiche e meccaniche

Se consideriamo una generica barra di metallo e la percuotiamo meccanicamente, vedremo che si metterà ad oscillare ad una frequenza caratteristica che dipende dalla geometria del materiale che la compone.

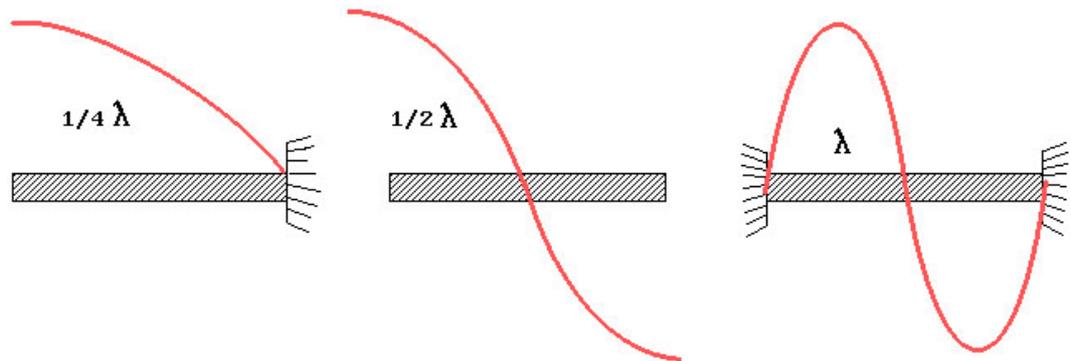


Fig. 18.5 - Modi di oscillazione di una sbarra -

La figura n. 18.5 mostra come la frequenza di oscillazione di tale barra metallica dipende anche dal modo in cui essa è vincolata ad un punto fisso. Anche il timbro sonoro emesso dalla barra cambia a seconda dei vincoli ad essa applicati. Si dimostra che, se la sbarra è vincolata ai due estremi, sono presenti tutte le armoniche $n=1,2,3,4,5, \dots n$. Se la barra è vincolata ad un solo estremo, saranno presenti le sole armoniche dispari $n=1,3,5,7 \dots 2n+1$.

La formula che permette di determinare la frequenza di oscillazione della barra è la seguente:

$$f = \frac{n}{2 \cdot L} \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$$

Il valore "n" esprime il tipo di armonico, "L" esprime la lunghezza delle barre o "rebbi", "σ" la densità del materiale ed "E" il modulo di Young

L'oscillatore sonoro per antonomasia è il diapason (o corista). Questo viene costruito in acciaio fuso non temperato, ritagliandone direttamente da una lastra di metallo, la sua forma definitiva. Alcuni ritengono che lo si ottenga piegando una barra di metallo, tale informazione è assolutamente errata.

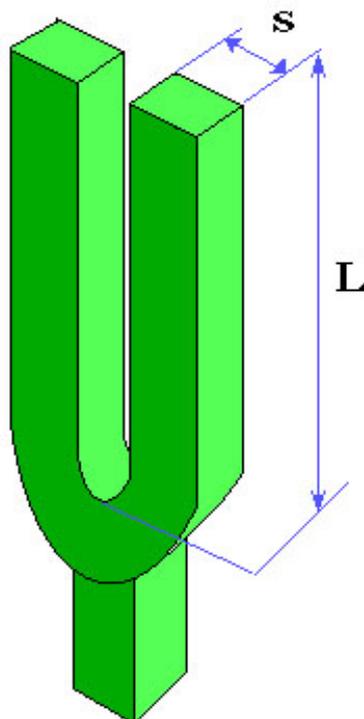


Fig. 19.5

Operando invece direttamente sul metallo fuso, è possibile ottenere un funzionamento prevedibile dato dal maggior controllo sul materiale. Questo processo di lavorazione elimina le eventuali irregolarità che potrebbero prodursi curvando il materiale già forgiato che impedirebbero il corretto funzionamento dello strumento. La frequenza di oscillazione del diapason non dipende dalla larghezza dei rebbi, ed è invece proporzionale al loro spessore s e alla loro lunghezza L . Vedi figura n. 19.5.

Il diapason oscilla producendo con un suono molto puro. Infatti, anche se vengono comunque rilevati armonici a frequenza diversa dalla frequenza fondamentale per il quale un diapason è costruito, questi armonici hanno una frequenza molto elevata e sono di ampiezza molto più bassa dell'ampiezza dell'oscillazione fondamentale. Nel uso pratico del diapason, questi armonici spuri possono facilmente essere trascurati poiché non producono effetti rilevanti. Il primo di questi armonici secondari ha sempre una frequenza pari a **6,26** volte la frequenza dell'armonico fondamentale, poi segue in successione l'armonico a frequenza **17,54**, e quello a **34,48** volte la frequenza dell'armonico fondamentale. La forma del diapason attualmente conosciuta è stata realizzata la prima volta da **John Shore**, capo dei trombettieri di George I d'Inghilterra.

La frequenza di oscillazione di un diapason può essere facilmente calcolata utilizzando la seguente formula pratica:

(2.05)

$$\nu = K \cdot s \cdot (1,012 \cdot L)^{-2}$$

Dove "s" è lo spessore in millimetri dei rebbi (vedi figura) ed "L" la lunghezza sempre in mm. La costante "K" dipende dal materiale di cui è fatto il diapason. Nel caso dell'acciaio $K=818270$ mm/s.

Nei secoli passati diapason o corista è stato utilizzato come riferimento musicale campione. Forse non tutti sanno che fu nell'ambito di un congresso tenuto a Vienna nel 1885 che si decise rigorosamente di utilizzare tale suono caratteristico a **435 Hz** come suono campione fondamentale. Voglio farvi notare che il numero 435 è perfettamente divisibile per la cifra **7.5** infatti $435/7.5 = 58$. Più avanti, alla fine di questo modulo, capiremo perché ho desiderato segnalare alla vostra attenzione questo fatto. Voglio segnalare che molto presto e precisamente verso la fine del 1800 ci furono numerose diatribe fra i musicisti e le Istituzioni musicali circa la frequenza che doveva essere adoperata per standardizzare il corista campione. Anche la frequenza di 432 Hz fu considerata una possibile alternativa. Comunque va subito detto che nel 1954, per decisione dell'International Organization for Standardization, (I.S.O.) la frequenza campione passò a 440 Hz. Ed è questo il motivo per il quale oggi abbiamo diapason tarati su questa particolare frequenza. Esiste una certa evidenza di documenti che mostrano che il noto musicista italiano Giuseppe Verdi non è stato mai d'accordo su questa scelta ritenuta per certi versi innaturale. Consiglio al lettore un approfondimento su quest'argomento.

Oscillazioni acustiche sono ottenibili anche facendo oscillare le corde di uno strumento musicale. La frequenza propria di oscillazione di una corda dipende anch'essa da alcuni fattori geometrici e dal materiale di cui la corda è costituita anche se la relazione analitica è ovviamente diversa da quella adoperata per determinare la frequenza del diapason. Vedi la formula n. 3.05.

$$f = \frac{1}{2 \cdot L} \sqrt{\frac{10^{-5} \cdot T}{\sigma \cdot S}} \quad (3.05)$$

Dove "L", è la lunghezza della corda, "T", è la tensione applicata ad essa, "σ" è la densità del materiale e infine "S" è la sezione. Per avere la frequenza in Hz, bisogna misurare "T" in Newton, "σ" in kg/dm³, "S" in cm² e "L" in cm. Se invece proviamo a far oscillare un pendolo, la massa oscillante descriverà una oscillazione sinusoidale con una frequenza pari a:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}} \quad (4.05)$$

Dove "l" è la lunghezza del pendolo e "g" l'accelerazione di gravità presente alla latitudine in cui facciamo oscillare il sistema. Questa formula (valida solo per piccoli angoli di oscillazione) ci mostra che la frequenza di oscillazione di un pendolo non dipende dal peso della massa pendolare ma solo dalla lunghezza del filo che la sostiene e dalla forza di gravità. Alle nostre latitudini, per ottenere l'oscillazione con periodo pari ad un secondo facendo i calcoli necessari, risulta che bisogna utilizzare un pendolo col filo di lunghezza pari a 25 cm. Voglio ricordare, che la lunghezza del pendolo riportata dalla formula n. 4.05, corrisponde alla misura della distanza tra l'estremo del filo vincolato e il baricentro dell'intero sistema oscillante. Quando ci riferiamo alla semplice lunghezza del filo, la nostra approssimazione è appena accettabile solo se il filo è molto lungo e la massa oscillante è piccola e pesante.

Le oscillazioni del pendolo avvengono tramite il movimento della massa, oscillante con velocità ad andamento sinusoidale, trasformando continuamente l'energia potenziale (quando la massa pendolare è ad una certa altezza) in energia cinetica (quando la massa è in movimento per il punto più basso del cammino oscillante). Se proviamo a costruire un pendolo ci accorgiamo subito che le sue oscillazioni risultano smorzate, cioè si riducono di ampiezza ad ogni tornata, poiché durante queste trasformazioni parte dell'energia viene perduta per le inevitabili forze di attrito.

Note :

Vi voglio ricordare che anche una massa "m" appesa ad una molla elastica con coefficiente di elasticità "k" (N/m) è considerata un pendolo. In questo specifico caso però la frequenza dell'oscillazione dipende direttamente dal valore della massa.

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Oscillazioni Elettriche

Nel modulo relativo alla corrente elettrica (mod. n. 8) vi parlerò ampiamente della fisica del fenomeno della conduzione elettrica. Nei laboratori di questo stesso modulo vi mostrerò anche alcune esperienze relative ai fenomeni della corrente elettrica alternata. Vi consiglio quindi di fare riferimento anche a questo modulo per comprendere meglio tutto quello che tratteremo fra poco.

La corrente elettrica è un flusso di elettroni che si propaga, in modo convenzionale, da un punto a potenziale positivo, verso un altro punto a potenziale negativo (oppure, che risulta essere la stessa cosa, “da un punto a potenziale maggiore ad uno a potenziale minore”). Talvolta però possiamo trovarci di fronte anche a condizioni in cui tale potenziale elettrico viene invertito ciclicamente nel tempo. Quando si verifica questa condizione, il flusso di elettroni inverte il suo moto ad una velocità veramente elevata. L'unica inerzia a questa straordinaria velocità di commutazione della corrente è data dai parametri induttivi e capacitivi del circuito elettrico. Tali parametri dipendono direttamente dalla geometria del circuito: se questi sono molto piccoli, le oscillazioni elettroniche possono avvenire a frequenza di diverse migliaia di milioni di cicli al secondo. Una frequenza pari ad **1 GHz** (un miliardo di oscillazione al secondo) è una tipica frequenza elettromagnetica che risulta ancora troppo bassa per i limiti che potrebbe offrire l'inerzia dell'elettrone. Tuttavia queste condizioni sono considerate estreme per quanto riguarda le capacità di trasporto di un tipico circuito elettrico costituito da semplici conduttori. Normalmente, superare la frequenza dei GHz, significa entrare in un regime che può essere sostenuto solamente da linee di trasporto molto particolari chiamate **guide d'onda**: il significato di tutto ciò verrà spiegato fra breve.



Fig. 20.5 - Klystron accoppiato in guida d'onda -

Nella foto viene mostrato un oscillatore ad altissima frequenza (klystron) esso presenta una flangia di uscita che permette al segnale di 5 GHz di connettersi alla guida d'onda. Questo significa che, arrivati ad una certa frequenza, la corrente elettrica per propagarsi correttamente necessita di strutture molto diverse da un semplice filo conduttore. Una cavità, dotata di opportuna geometria, ricavata in un materiale metallico conduttore, costituisce in questo caso una possibilità per la propagazione del segnale elettrico.

Ma andiamo con ordine e vediamo di capire come può essere realizzata un'oscillazione elettrica. Capirete certamente, che per ragioni legate all'obiettivo che si prefigge questo testo, non posso approfondire un argomento

che normalmente, per essere studiato, richiede l'analisi di numerosi argomenti collegati. Mi limiterò quindi a descrivere le oscillazioni di elettroni che avvengono in circuiti molto vicini a quelli che interessano le sperimentazioni effettuate in questo testo.

Per ottenere in modo semplice oscillazioni di elettroni, si possono realizzare circuiti che utilizzano due componenti. Con un induttore e un condensatore (capacitore) abbiamo un circuito, chiamato circuito LC, che può fare al caso nostro. Un induttore è un dispositivo elettrico che, per la sua particolare conformazione geometrica, ha la proprietà di creare un campo magnetico quando è attraversato da corrente elettrica. La proprietà di creare un **campo magnetico** è associata alla proprietà induttiva del dispositivo. Normalmente per un solenoide questa caratteristica la si scrive:

$$L = \frac{\phi}{I} = \frac{\text{flusso} \cdot \text{magnetico}}{\text{corrente} \cdot \text{elettrica}} \quad (5.05)$$

La formula ci dice che l'induttanza "L" del solenoide dipende dal rapporto fra il flusso magnetico che il solenoide è in grado di produrre e la corrente che vi circola per sostenerlo. L'induttanza normalmente si misura in henry (H). Più grande è l'induttanza "L" del circuito, più elevato è il campo magnetico che questo può produrre.

Nel caso del condensatore possiamo dire che questo componente è un dispositivo che, per la sua particolare conformazione geometrica, ha l'attitudine a creare un **campo elettrico**. Ma molto meglio si presta alla comprensione del concetto, dire che un condensatore ha una elevata attitudine a caricarsi di elettricità. Vale in questo caso la formula:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\text{Carica} \cdot \text{elettrica}}{\text{Potenziale} \cdot \text{armature}} \quad (6.05)$$

Tale formula ci dice che la capacità "C" del condensatore, dipende dal rapporto fra la carica elettrica accumulata sulle sue armature e il potenziale elettrico che assumono queste ultime. La capacità si misura normalmente in farad (F).

La possibilità da parte del dispositivo di contenere, di racchiudere in essa, una certa carica elettrica, è indice della sua attitudine a sviluppare un campo elettrico fra le sue armature con il più basso potenziale applicato.

Un'altra importante osservazione che vorrei sottolinearvi, è che un circuito LC, visto nella sua globalità, comprende due componenti che estremizzano queste due proprietà dei circuiti, ovvero la capacità di creare un campo magnetico e la capacità di creare un campo elettrico. In un certo senso queste due proprietà racchiudono l'essenza stessa del campo elettromagnetico. Infatti, (come vedremo nel modulo "L'elettromagnetismo") l'elettone produce appunto un campo elettromagnetico, confermando pienamente che il campo elettrico e quello magnetico sono due aspetti che riguardano una sola entità fisica, appunto il campo elettromagnetico. Ma torniamo ora al nostro circuito.

Come abbiamo già detto, se colleghiamo insieme l'induttore e il condensatore otteniamo un circuito LC. Proviamo a vedere quello che succede

se iniettiamo una certa quantità di energia all'interno del circuito collegandovi un generatore elettrico, una pila per esempio.

Se chiudiamo per brevissimo tempo l'interruttore "i", costringiamo la corrente elettrica della pila a fluire all'interno del nostro circuito. Quello che succede nei primissimi istanti di tempo, appena questo evento comincia a procedere, è che il condensatore "C" comincia a caricarsi di cariche elettriche.

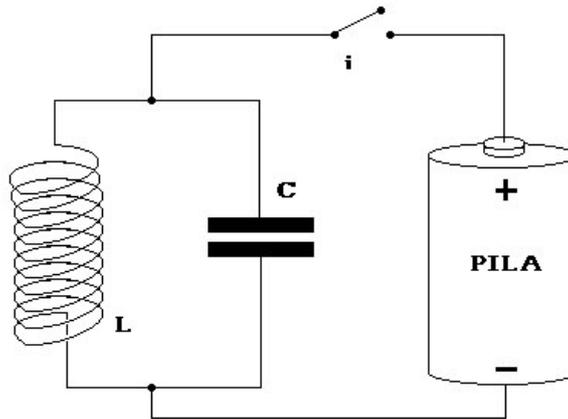


Fig. 21.5 - Circuito oscillante LC -

Per continuare il nostro ragionamento senza farci distrarre dal generatore collegato, possiamo anche supporre di interrompere di nuovo l'interruttore "i", ripristinando in questo caso la condizione di isolamento iniziale: il circuito ha comunque assorbito una certa quantità di energia ed essa è disponibile sotto forma di campo elettrico all'interno del condensatore "C". Ma, la condizione che stiamo descrivendo non può assolutamente restare così immutata. Infatti, il condensatore comincerà a scaricarsi facendo passare la corrente all'interno dell'induttore "L". Quando questo processo sarà completato, l'induttore sarà avvolto da un campo magnetico e la corrente nel circuito cessa. Tutta l'energia che prima era accumulata sotto forma di campo elettrico all'interno del condensatore è ora concentrata sotto forma di campo magnetico all'interno dell'induttore. Ma anche questa condizione non può assolutamente permanere in questo stato. L'induttore infatti, comincerà a scaricare la sua energia, producendo una corrente elettrica che a sua volta comincerà a caricare di nuovo il condensatore, questa volta con un potenziale dotato di verso contrario a quello precedente. L'energia sarà quindi passata tutta di nuovo al condensatore. Questo processo appena descritto si potrebbe teoricamente ripetere all'infinito, ma normalmente si estingue dopo qualche tempo poiché, durante queste trasformazioni cicliche, si verificano perdite di energia sotto forma termica che provocano inevitabilmente l'attenuazione di queste oscillazioni.

Se però riuscissimo a visualizzare il potenziale elettrico presente ai capi del condensatore, potremmo vedere queste oscillazioni elettriche di potenziale.

L'oscillazione di potenziale ai capi del circuito è regolata da questa semplice equazione analitica:

$$v_C = V_C \sin \omega \cdot t$$

(7.05)

La formula ci dice che il potenziale variabile v_c presente ai capi del condensatore è proporzionale a un valore massimo V_c e ad un termine sinusoidale che ha una pulsazione “ ω ” e dipende dalla variabile temporale “ t ”. L’oscillazione si propaga quindi nel tempo con andamento sinusoidale e inverte ciclicamente il suo verso con una pulsazione “ ω ”.

Il circuito LC, funziona per analogia, come un pendolo meccanico. Nel pendolo, le oscillazioni sinusoidali si susseguono poiché l’energia della massa pendolare si converte continuamente tra un livello di energia potenziale e cinetico. Nel circuito LC, le oscillazioni si susseguono grazie ad una conversione di energia di campo elettrico in energia di campo magnetico. Per quello che abbiamo detto in queste pagine è ovvio che il

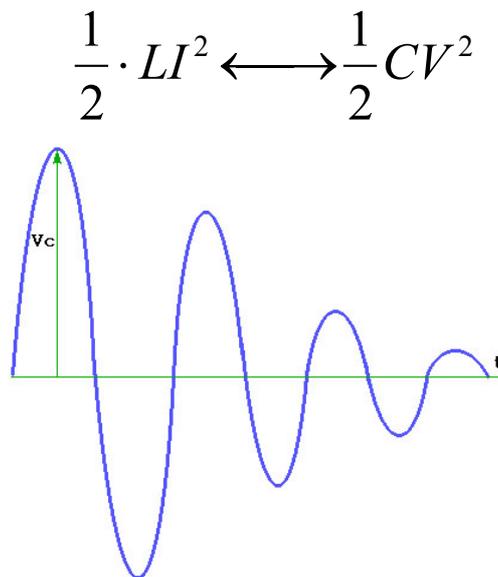


Fig. 22.5 - Altalena di energia fra Campo elettrico e campo magnetico -

termine V_c non può essere una costante. Il suo valore, si riduce praticamente ad ogni ciclo fino a risultare talmente piccolo da portare il fenomeno oscillante a termine. Anche in questo caso si dice, normalmente, che siamo di fronte ad un regime di oscillazioni smorzate.

Preme però a questo punto fare delle considerazioni sulla pulsazione “ ω ” del circuito. Come sappiamo la pulsazione mediante la relazione sottostante ci indica la frequenza, cioè il numero di cicli al secondo.

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}$$

(8.05)

Ebbene, la formula matematica che caratterizza la frequenza naturale di oscillazione del circuito risulta essere:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

(9.05)

Dove “L” e “C” sono appunto i parametri reattivi del circuito LC. Se andate a controllare la formula 4.05 relativa alla frequenza di oscillazione di un pendolo, vi accorgete che le formule sono molto simili l’una all’altra. La fisica di una oscillazione di energia è un concetto universale.

Per chiudere il nostro studio sul circuito oscillante LC, diciamo subito che per ottenere un oscillatore in grado di generare in modo persistente delle oscillazioni elettriche, occorre trovare un espediente che riesca a fornire continuamente al circuito LC l’energia che esso perde ad ogni ciclo, per via delle perdite sempre presenti. Negli orologi a pendolo succede esattamente la stessa cosa. La molla meccanica possiede, quando è caricata, una certa quantità di energia potenziale, che fornirà lentamente al sistema degli ingranaggi e dei rotismi per mantenere costante l’oscillazione del pendolo e compensare le perdite dovute ad attriti e altro. Per fare la stessa cosa in un circuito LC, occorre disporre di un generatore di energia elettrica e di un dispositivo elettronico che provveda in modo automatico a fornire al circuito tramite l’immissione di corrente elettrica, l’energia che questo perde ad ogni ciclo.

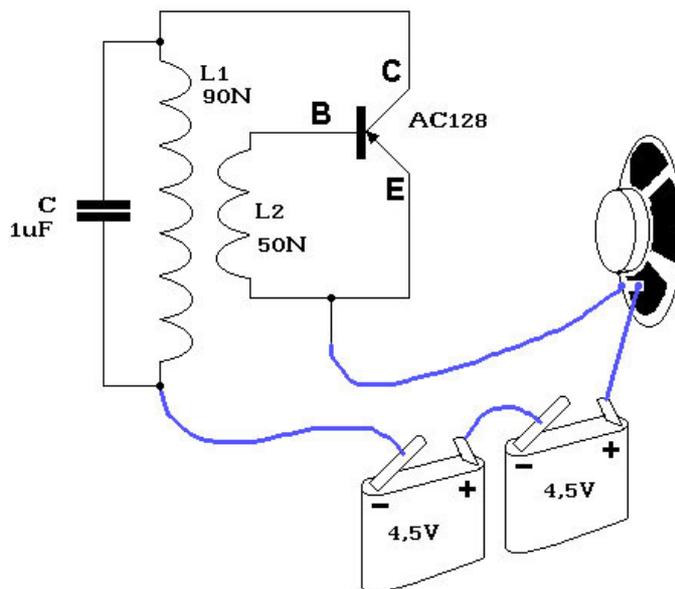


Fig. 23.5 - Oscillatore elettronico -

Riguardo il circuito visto in uno dei laboratori di questo modulo, alla luce dei nuovi concetti acquisiti e al fine di comprendere questo principio, osservandolo attentamente la fig. n. 23.5 vi accorgete, anche se non siete elettronici, che a parte il circuito LC costituito da un condensatore da 1 μF e dall’induttore di 90 spire, c’è anche un altro avvolgimento (o solenoide) solidale all’induttore del circuito LC, che risulta connesso ad un terminale del transistor AC128. Questo avvolgimento è chiamato avvolgimento di reazione positiva, oppure avvolgimento pilota. Tale connessione serve per controllare il transistor che, tramite il suo circuito secondario (di collettore), è in grado di iniettare energia

nel circuito oscillante LC tramite la batteria di pile ad esso collegato. Il senso di avvolgimento dei fili è regolato in modo da consentire proprio questo fatto. Tramite la legge di Lenz, l'avvolgimento pilota è in grado di fornire al transistor un segnale in un istante opportuno in modo che quest'ultimo piloti a sua volta il circuito oscillante LC. Tutte le volte che il circuito oscillante completa un ciclo di lavoro, ci sarà quindi, una certa quantità di energia, che sarà erogata dalle batterie di pile al circuito LC. Le oscillazioni di questo circuito saranno quindi persistenti nel tempo, almeno, fino a quando le batterie non scaricheranno completamente la loro energia. Se avete mai provato a smontare qualche volta un orologio a pendolo antico (io l'ho fatto e vi assicuro che è stata un'esperienza davvero emozionante), vi accorgete che il sistema meccanico che rinforza le oscillazioni del pendolo corrisponde analogicamente ne' più ne' meno al circuito elettronico del transistor visto in questa sede. Questo semplice circuito in grado di produrre oscillazioni elettriche persistenti, costituisce solo un esempio fra le tante possibilità. L'obiettivo di queste pagine resta quello di fornirvi supporto per comprendere con più facilità quello esaminato in precedenza durante i laboratori sperimentali. Ritengo di dovervi dire, molto onestamente, che ci sono numerosi altri approfondimenti necessari, ma, per ragioni di facile intuizione, non possono essere approfondite in questo testo. Mi auguro di essere stato comunque chiaro in relazione a quanto riportato, soprattutto nell'intento di fornirvi più informazioni possibili sulle argomentazioni pratiche svolte.

Risonanza di Schumman

La nostra Terra è circondata da uno spessore di gas chiamato "atmosfera" costituito prevalentemente di azoto e ossigeno (vedi lo schema in appendice). Le caratteristiche fisiche degli strati atmosferici variano con l'altezza. A circa 50 km, inizia una zona conosciuta come ionosfera costituita da gas fortemente ionizzato dalle radiazioni ultraviolette provenienti dal Sole. Per tale motivo, questa zona atmosferica è interessata da particolari fenomeni di conducibilità elettrica.

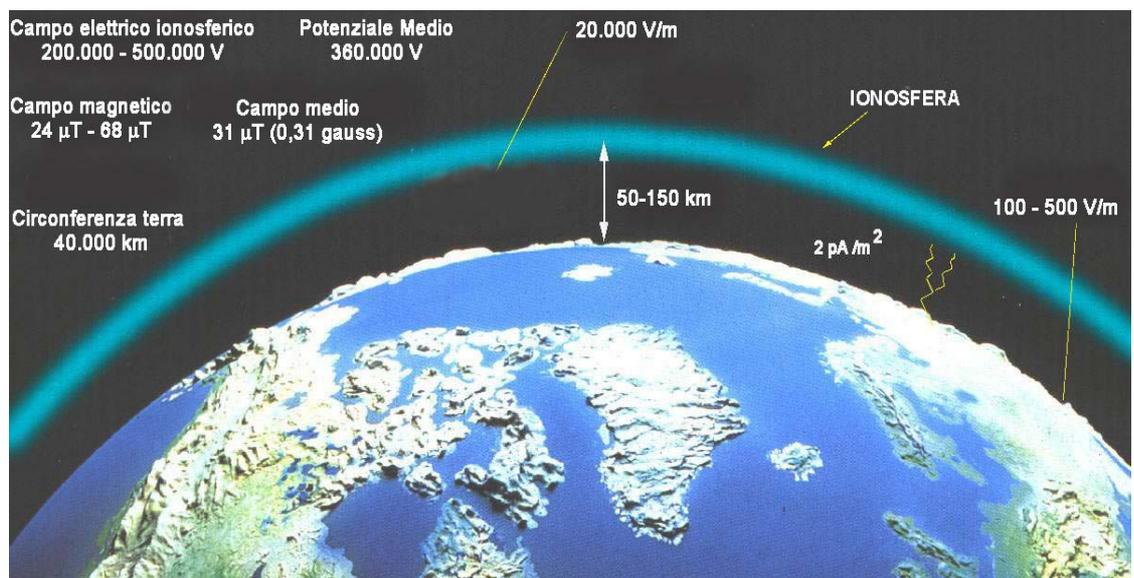


Fig. 23.5.1

Tale proprietà è ben conosciuta dagli esperti o appassionati di comunicazione radio. Infatti, la conducibilità della ionosfera crea come uno schermo per onde elettromagnetiche di opportuna frequenza, utilizzate per la comunicazione a lunga distanza. Gli strati intermedi invece, sono molto meno conduttivi, fino a raggiungere il suolo, che invece, risulta essere generalmente conduttivo. Queste condizioni appena illustrate mostrano una struttura alternata costituita da uno strato isolante fra due strati conduttivi. Il sistema terra/atmosfera in pratica si presenta come un grosso condensatore che, a causa di diversi effetti presenti nell'atmosfera, può essere considerato alla stregua di un generatore naturale di cariche elettrostatiche in cui, il dinamismo delle correnti di aria che si spostano dal basso verso l'alto, realizza una sorta di generatore di Van de Graaff su scala planetaria. Questo gigantesco generatore di potenziale mantiene gli strati di atmosfera, localizzati nella ionosfera, ad un potenziale di **360.000 V** rispetto al suolo. In media vi sono circa 100 fulmini che colpiscono la nostra Terra ogni secondo. Queste scariche elettriche, tendono ad abbassare il potenziale raccolto dalla ionosfera. Ma, mentre questi fulmini si propagano indebolendo la carica elettrica ionosferica, le nuvole e le correnti d'aria, che fluiscono dal basso verso l'alto, tendono a ricaricare il sistema. Il processo non è oggi ancora molto chiaro e ci sono numerosi ricercatori che se ne stanno occupando. Quello che mi premeva dirvi, tuttavia è che questo formidabile potenziale elettrico, localizzato più o meno nella ionosfera, sottopone tutti noi ad un campo elettrico costante con il polo positivo verso l'alto (sulla nostra testa) e il polo negativo alla base del suolo. La distribuzione della densità di campo elettrico varia con l'altezza, raggiungendo in alcune zone gradienti prossimi ai 20.000 V/m. Verso il suolo invece, il campo di forze elettrico ha un gradiente più basso del valore di circa 100 – 500 V/m. Questo significa che, se consideriamo un uomo di statura normale, possiamo dire che mediamente egli ha il capo a circa 200 volt rispetto ai suoi piedi. Questo fatto non deve farci meravigliare molto, poiché l'impedenza a cui questo campo è sottoposto è molto grande, quindi non si verifica alcun effetto pericoloso (state certi che grazie ad esso non potrete mai vedere le lampadine accendersi). Anzi, è molto importante considerare che l'uomo fino dalla notte dei tempi è stato abituato a vivere all'interno di questo campo di forze elettrico. Questo campo elettrico, che possiamo ritenere prevalentemente statico, per quanto sappiamo è rimasto immutato e perfettamente costante per svariati milioni di anni fino ad ora.

Oltre al campo elettrico che attraversa la nostra atmosfera fino a terra, esiste anche un campo magnetico costante che, più o meno trasversalmente, avvolge tutte le cose che ci circondano. Di quest'ultimo abbiamo una conoscenza più diretta, poiché fin da bambini, tramite la bussola, ci siamo accorti della sua presenza e ci siamo divertiti a misurarlo e a scoprirne i suoi effetti. Tale campo magnetico non solo nella storia del pianeta ha invertito più volte la sua direzione ma, è piuttosto irregolare nella sua tessitura superficiale. Tale variabilità è dovuta al fatto che esso risulta influenzabile da molti fattori, come ad esempio dagli effetti prodotti dal vento solare oppure, in modo preponderante risente degli effetti perturbativi prodotti dal nostro Sole quando produce le sue tempeste magnetiche. La foto n. 25.5, è un esempio che illustra come varia il campo magnetico terrestre a seconda della latitudine e della longitudine. Il diagramma tiene conto delle componenti sia verticali che orizzontali.

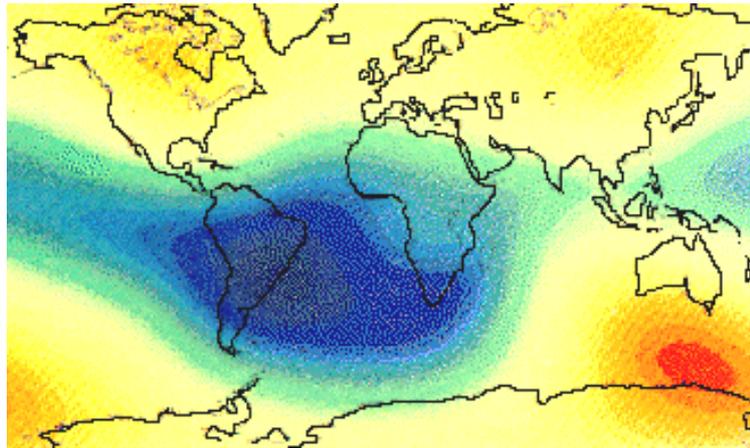


Fig. 24.5 - Gradiente magnetico complessivo presente sulla terra (anno 1999) -

Nelle zone della cartina contrassegnate dal colore rosso, misuriamo un campo magnetico statico di circa $68\mu\text{T}$ (microtesla), mentre le zone blu dove il campo magnetico è più basso il valore è all'incirca $24\mu\text{T}$. In Italia il valore è intermedio tra i due e può essere considerato molto prossimo al valore medio dell'intero globo cioè pari a $45,5\mu\text{T}$. Altro fattore che può far variare sensibilmente questo campo magnetico da zona a zona è il tipo di geologia locale, che può portare nel tempo ulteriori variazioni in relazione a fenomeni ancora non del tutto chiariti e che interessano, fra l'altro anche il magnetismo solare. Approfitto di questa occasione per ricordarvi che il polo nord magnetico si presenta in Antartide cioè al polo sud geografico, viceversa, il polo sud magnetico è localizzato più o meno verso il polo nord geografico. E non come viene sostenuto erroneamente da diversi libri. Maggiori dettagli su questa mia affermazione, potrete trovarli nel modulo sull'elettromagnetismo.

Ma tutto quanto detto fino ad ora è solamente una premessa necessaria per riuscire ad inquadrare un argomento o fenomeno di studio, che credo, incuriosirà certamente molti di voi.

La Terra, così come l'abbiamo descritta, si comporta come una specie di guida d'onda per le onde elettromagnetiche. La nostra atmosfera isolante, che si interpone fra lo strato conduttivo della ionosfera e il suolo, si comporta come una cavità che ha una specifica frequenza di risonanza. Questo significa che, una attività energetica di qualsiasi natura, innescata per esempio da un fulmine o altro meccanismo climatico o di tipo planetario, riesce ad generare un processo di emissione di onde elettromagnetiche che vengono intrappolate e rafforzate in base alla risonanza di cavità. Questi processi avvengono continuamente grazie alla dinamica delle tempeste che si generano sul nostro pianeta e dalle condizioni variabili del clima. Quindi, se utilizziamo un magnetometro molto sensibile, dovremo misurare queste frequenze di risonanza. Nel 1952 un fisico tedesco, W.O. Schumann dell'università di Monaco, predisse che queste risonanze potevano essere rilevate. Alcuni anni dopo, grazie a sofisticate tecniche di rilevazione, questi segnali atmosferici sono stati rilevati e misurati. Anzi, questo genere di studi, è attualmente molto seguito dai governi delle nazioni più industrializzate poiché, oltre che per ragioni puramente scientifiche, esiste anche un evidente interesse militare.

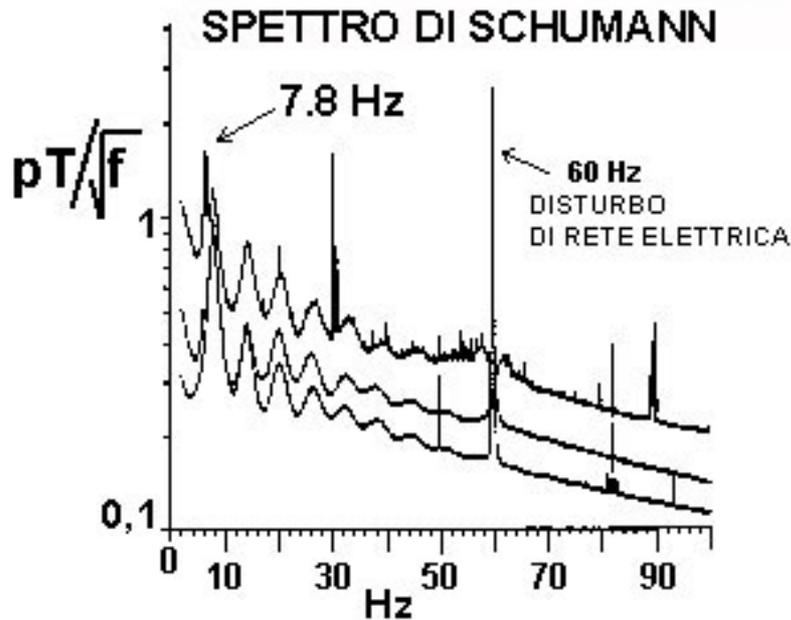


Fig. 25.5 - Spettro di schumann misurato in U.S.A. -

La figura n. 25.5 mostra una tipica rilevazione spettrale di un segnale molto debole misurato con un magnetometro da un centro di ricerca americano nel 1999. Dal grafico appare un insieme di frequenze caratteristiche, tra cui il picco più importante a **7.8 Hz** definito fondamentale o picco risonante di Schumann. Il grafico, mostra anche un picco molto elevato a 60 Hz che risulta essere un disturbo arrecato dalle linee aeree di conduzione dell'energia elettrica. È interessante aggiungere che, secondo alcuni studiosi (non posso confermare questa notizia), la frequenza di oscillazione fondamentale a 7,8 Hz sta variando nel tempo. Anzi, alcuni sostengono che questa frequenza, originariamente prossima ad un valore di 7,5 Hz è già arrivata ad un valore di oltre 8 Hz. Tali variazioni sono estremamente importanti, poiché dipendono da fattori geomagnetici che riguardano la struttura del nostro pianeta. Ho voluto parlare della risonanza di Schumann, poiché l'argomento riguarda direttamente l'obiettivo di questo modulo. Infatti, è piuttosto interessante sapere, che anche il nostro pianeta Terra, presenta una sua oscillazione elettromagnetica caratteristica. Quello che risulta più affascinante, è che, per quanto estremamente piccola, essa non è artificiale ma naturale. È inutile dire quanto questo argomento sia stato preso d'assalto da persone appartenenti a correnti di pensiero non rigorosamente scientifico e da individui che frequentano scuole misteriche o gruppi di studio un po' troppo alternativi. Costoro infatti, prescindendo dagli aspetti scientifici del fenomeno, hanno fatto della risonanza di Schumann una parascienza, dissolvendo i fattori importanti e incontestuali che invece sono un interessante motivo di studio scientifico. È indubbio che, se questa frequenza esiste, i nostri organismi sono in un certo senso legati ad essa. È probabile che esista veramente una sorta di induzione che lega la nostra vibrazione vitale alle onde della natura ma, per adesso, sembra che non esistano prove concrete che dimostrino gli eventuali effetti di tale induzione.

Permangono tuttavia analogie molto singolari, come quelle che mi sto apprestando a illustrarvi qui di seguito che forniscono più interrogativi che risposte.

Dovete sapere che, se analizziamo il battito cardiaco di una persona normale, tale battito è visualizzabile mediante una oscillazione elettrica chiamata ECG, il normale elettrocardiogramma, per intenderci. Ebbene, se facciamo una scansione di questa oscillazione elettrica attraverso un'analisi spettrale, notiamo che c'è una componente di frequenza molto vicina al valore di 7 Hz. Si tratta di un armonico della pulsazione fondamentale del nostro organo cardiaco che, come tutti sanno, ha un periodo di circa 0.75 secondi (**1,33 Hz**) per una persona in condizioni normali. Tutto questo potrebbe far pensare ad un legame con la frequenza di Schumann, ma è opportuno ribadire che questo accostamento, seppur estremamente interessante, non è sufficiente per farci supporre un'ipotesi in tal senso potendo in ogni caso essere una pura e semplice coincidenza. Continuando con gli esempi di questo genere è ancora più interessante la foto che voglio ora mostrarvi.

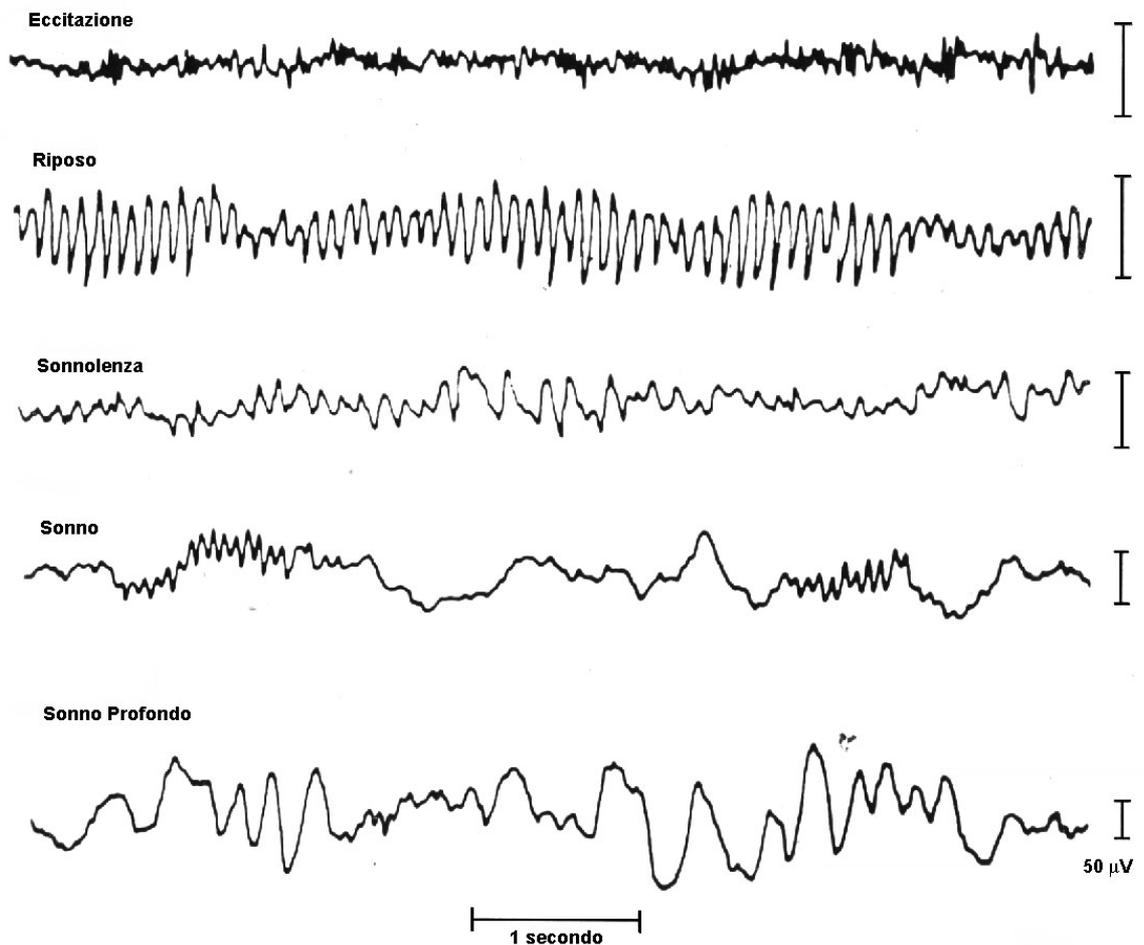


Fig. 26.5 - Elettroencefalogrammi registrati in diversi stati/condizioni -

Si tratta di alcuni tracciati elettroencefalografici di una persona normale, ripresi in varie condizioni di attività cerebrale. Il tracciato relativo alla condizione di riposo propone un segnale che, senza bisogno di effettuare un'analisi spettrale approfondita, mostra chiaramente la componente frequenziale a 7.5 Hz.

Anche in questo caso seppure esiste una netta corrispondenza fra la frequenza di Schumann e i segnali cerebrali umani non esiste tuttavia alcun risultato scientifico attendibile che leghi in qualche modo i due fenomeni, relegando queste interessanti correlazioni alla stregua di interessanti curiosità.

Se ben ricordate, in questo modulo vi ho chiesto di tenere a memoria la frequenza del primo corista campione pari a 435 Hz successivamente modificata allo standard attuale ove la frequenza è pari a 440 Hz. In quel caso ho fatto osservare che 435 Hz è un multiplo di 7,5 Hz. Alla luce delle nuove conoscenze dettate dalla frequenza di Schumann sarebbe il caso di ricorrere a un ripensamento per modificare di nuovo la frequenza del corista campione in modo da sincronizzare l'armonia dei suoni ad un valore espressamente dettato dalla natura ? Parafrasando alcune letture molto curiose sull'argomento, addirittura, si potrebbe invece portare il corista campione alla frequenza di 432 Hz che a detta di alcune correnti di pensiero sembrerebbe quest'ultima la frequenza più vicina all'ordine naturale dell'armonia del mondo (?).

Non prendetemi alla lettera, sto ovviamente scherzando, ma quello che conta è aver stimolato il vostro cervello a pensare. Ricordatevi, che la cosa più importante, non sono le nozioni tecniche o scientifiche che fornirete ai vostri allievi. La mirabile opera di un educatore è la sua capacità di aver fatto pensare la gente. Sarà la vostra capacità di aver attivato dei cervelli a nobilitarvi come veri maestri. Questo, dovrebbe essere il vero insegnante. La differenza è tutta contenuta in questa semplice ma profonda verità.

