# La velocità di un'onda EM

***Lavoro eseguito dagli allievi della classe 2^B/E/F - a.s. 2015-16***

**Scopo**

L'obiettivo dell'esperienza é stimare la velocità di propagazione di un'onda elettromagnetica.

**Materiale utilizzato**

- ☑ Forno a micro onde (rotante);
- ☑ Barra di cioccolato fondente, di lunghezza almeno pari a 15 cm: più é grande meglio é, a condizione che non sia di dimensione maggiore del piatto *(vedi prima immagine)*;
- ☑ Righello graduato.

**Principio del metodo**

- Il cioccolato fonde perché assorbe l'energia associata all'onda elettromagnetica generata dal forno a micro onde.
- In realtà all'interno del vano di cottura si produce un sistema di onde stazionarie (*vedi Appendice*), vale a dire un moto ondulatorio caratterizzato dal fatto che l'onda *non é "viaggiante"*. Così l'energia non é trasportata da un punto all'altro ma "staziona" lungo il campo elettromagnetico: i punti dell'onda che non vibrano sono denominati nodi (rappresentati in rosso nella *clip SW_NA*), quelli che oscillano alla massima ampiezza sono detti antinodi o ventri.
- Per i motivi esposti qui di seguito (*vedi Appendice*) l'**energia elettromagnetica "si concentra" in corrispondenza degli antinodi** e pertanto é in quelle posizioni che il cioccolato fonde in breve tempo.
- La misura indiretta della velocità dell'onda EM (elettromagnetica) si basa sulla seguente espressione matematica:

$$v = \lambda \cdot f \left( m \cdot Hz = m \cdot s^{-1} \right)$$

- La **frequenza f** dell'onda emessa dal forno si legge sulla "targa" dello stesso, posizionata sul dorso dell'elettro domestico (*vedi seconda immagine*): normalmente essa é pari a 2.450 MHz vale a dire la frequenza in unità SI é 2.450.000.000 = 2,45 $\cdot 10^9$ Hz.
- Le due posizioni in cui il cioccolato ha iniziato a fondere ci informano circa il valore della lunghezza della micro onda: esse rappresentano, infatti, la **distanza d** fra due antinodi adiacenti.
- Siccome é possibile dedurre (*vedi Appendice*) che due antinodi adiacenti sono distanziati di mezza lunghezza d'onda (*vedi clip SW_NA*), ne consegue che misurando la distanza d fra i due punti suddetti e moltiplicando per 2 si ottiene la **lunghezza d'onda** in cm.

**Procedimento** (*vedi anche la Clip degli studenti allegata*)

A) Rimuovete il piatto porta vivande e il dispositivo di rotazione (*vedi* dalla *terza* alla *quinta immagine*): in questo modo l'onda inciderà sulla barretta di cioccolata nel senso della sua lunghezza.

B) Scartate la barretta, riponetela nel forno sul piatto porta vivande capovolto (*vedi sesta immagine*) ed accendetelo.

C) Osservate la cioccolata con attenzione. Si deve spegnere il forno al primo segno di fusione del cioccolato: nel mio caso ho utilizzato una potenza di 450 W per circa 1 minuto ma é evidente che il tempo necessario alla misura dipende anche dallo spessore della barretta: idealmente si desidera che la superficie della barretta fonda solo in alcuni (2) piccoli punti.

D) Al termine misurare la distanza d tra le due linee di fusione (*vedi settima immagine*).

**Misure dirette e indirette**

| | f (Hz) | d (cm) | λ (m) | v . $10^8$ (m/s) |
|---|---|---|---|---|
| Me | 2,45 . $10^9$ | 6,2 | 0,124 | **3,038** |
| Claudia - Filippo (2^F) | | 6,7 | 0,134 | **3,283** |
| Miriam - Elisa (2^F) | | 6,0 | 0,120 | **2,940** |
| Giada - Sara (2^F) | | 6,5 | 0,130 | **3,185** |
| Alessia - Anna (2^F) | | 6,0 | 0,120 | **2,940** |
| Lorenzo (2^F) | | 7,0 | 0,140 | **3,430** |
| Luca - Vincenzo (2^B) | | 7,0 | 0,140 | **3,430** |
| Alessandro - Tobias (2^E) | | 5,9 | 0,118 | **2,891** |
| Ilya - Arsab (2^E) | | 5,8 | 0,116 | **2,842** |

*N.B. Ho riportato le misure più accurate ma in nessun caso la distanza fra le due aree di fusione ha superato il valore di 8,0 cm.*

**Appendice**

Nel forno si sovrappongono due onde sinusoidali della stessa ampiezza e frequenza, in moto con velocità opposte: il primo "treno d'onda" é generato dal *magnetron* del forno, il secondo é prodotto per riflessione sulla parete verticale del vano interno del forno stesso.

Come si può osservare (*vedi clip SW_generation*), l'onda risultante ha le seguenti singolarità:

- La presenza di punti detti **nodi**, il cui scostamento dalla posizione di equilibrio é sempre nullo, per qualsiasi valore del tempo;
- La presenza di punti localizzati fra due nodi successivi che oscillano, invece, alla massima ampiezza: sono denominati **ventri** o **antinodi**.

L'analisi matematica del fenomeno dell'onda stazionaria può essere effettuata considerando le due possibili funzioni d'onda del campo elettrico:

$$E_1(x,t) = E_m \cdot sen(kx - \omega t)\,;\; E_2(x,t) = E_m \cdot sen(kx + \omega t)$$

rispettivamente per l'onda generata e quella riflessa.
La loro risultante può essere determinata mediante la prima formula di prostaferesi:

$$E_R(x,t) = E_1(x,t) + E_2(x,t) = \left[2E_m \cdot senkx\right] \cdot \cos(\omega t)$$

Il risultato mostra che ciascun elemento della componente elettrica dell'onda vibra di moto armonico semplice, con pulsazione ω; l'ampiezza della vibrazione dipende però dal valore dell'ascissa x.
In particolare l'ampiezza $2E_m \cdot |senkx|$ é massima quando:

$$2E_m \cdot |senkx| = 2E_m \Rightarrow |senkx| = 1$$

valer a dire per:

$$kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \ldots$$

Generalizzando, la condizione che consente di localizzare i ventri dell'onda stazionaria é la seguente:

$$kx = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \pi \quad \text{con } n = 0,1,2,\ldots$$

Pertanto si ha che la loro posizione corrisponde ai punti di ascissa:

$$x = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\pi}{k} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\pi}{2\pi/\lambda} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{con } n = 0,1,2,\ldots$$

In conclusione: i ventri sono distanziati di mezza lunghezza d'onda e si potrebbe dedurre che lo stesso vale per la distanza tra due nodi successivi.

É, infine, evidente il motivo per cui le onde stazionarie non trasportano energia: essa, infatti, non può essere spostata da un punto all'altro del campo e al di là dei nodi, poiché questi ultimi sono sempre a riposo. L'energia, perciò, "staziona" lungo il campo e si converte da cinetica a potenziale e viceversa.