

Fenomeni connessi con il moto ondoso

0. Obiettivo

In queste pagine analizzeremo alcuni fenomeni connessi con il moto ondoso: la riflessione, la rifrazione e la diffrazione.

Per visualizzare tali fenomeni in 2D e 3D, utilizzeremo l'applet¹ che puoi trovare alla pagina:

http://fisicaondemusica.unimore.it/Applet_Onde_2D.html

1. Onde analizzate

Studieremo onde d'acqua, che si muovono in uno spazio limitato in due o tre dimensioni.

Se indichiamo con il termine di fronte d'onda l'insieme dei punti della superficie acquosa contigui e che presentano il medesimo stato di vibrazione, analizzeremo onde che presentano:

1. fronti d'onda rettilinei (fig. 1)
2. fronti d'onda circolari (fig. 2)

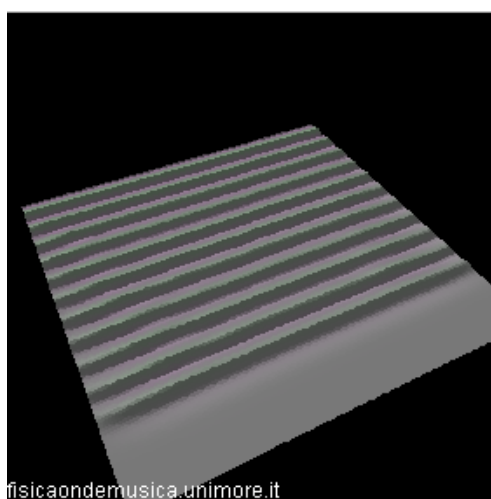


fig. 1

¹ E' un piccolo programma scritto nel linguaggio Java.

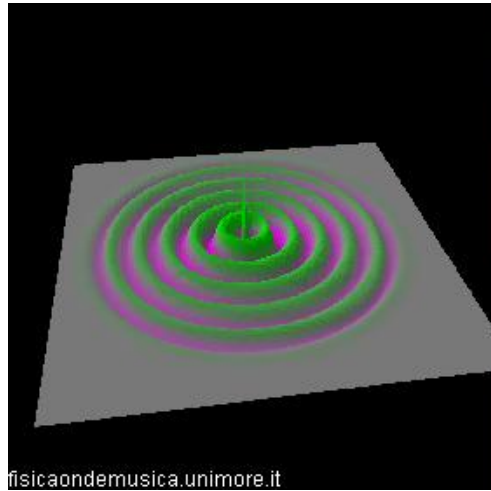


fig. 2

Una perturbazione ondosa che presenti:

- fronti d'onda rettilinei può, ad esempio, essere generata immergendo ed estraendo periodicamente dall'acqua un'asta;
- fronti d'onda circolari può, ad esempio, essere generata da una punta metallica che venga immersa ed estratta periodicamente in direzione perpendicolare alla superficie acquosa.

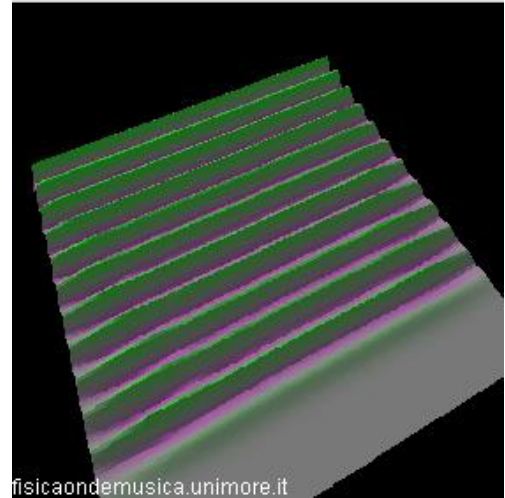
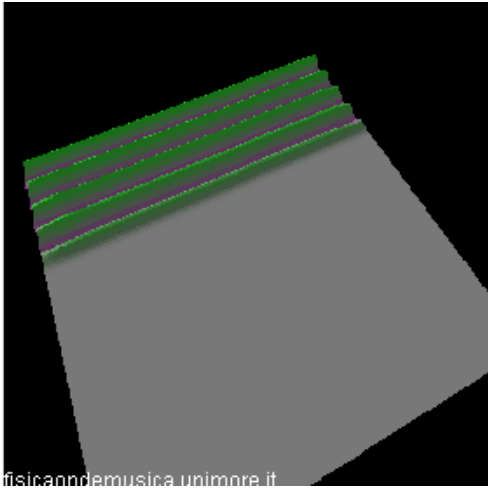
2. Propagazione di un fronte d'onda rettilineo

La foto che seguono mostrano la propagazione di un'onda caratterizzata da fronti d'onda rettilinei.

Visualizzazione in 2 D:



Visualizzazione in 3 D:



Osserviamo che:

1. durante la propagazione i fronti d'onda permangono rettilinei
2. la lunghezza d'onda della perturbazione resta invariata.

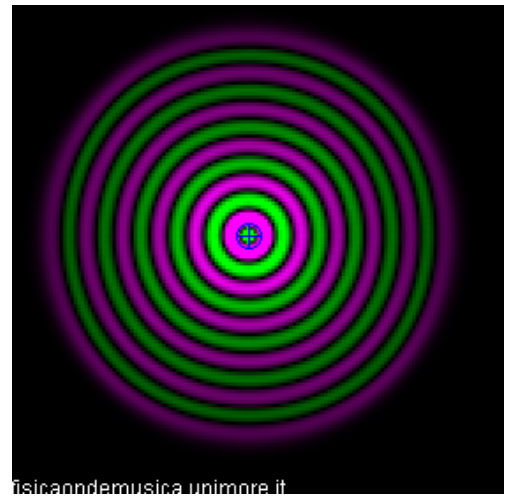
Nelle fotografie è descritta una situazione ideale.

Nella situazione reale, infatti, l'onda propagandosi diminuisce progressivamente la sua ampiezza a causa dell'attrito viscoso dovuto al liquido in cui si propaga.

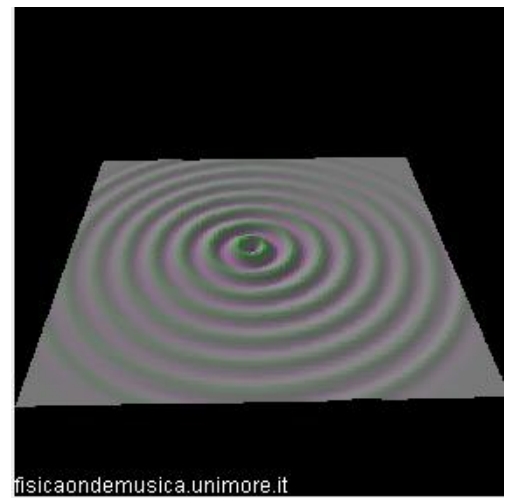
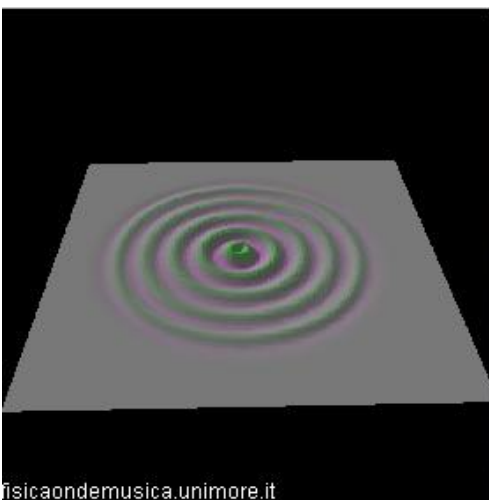
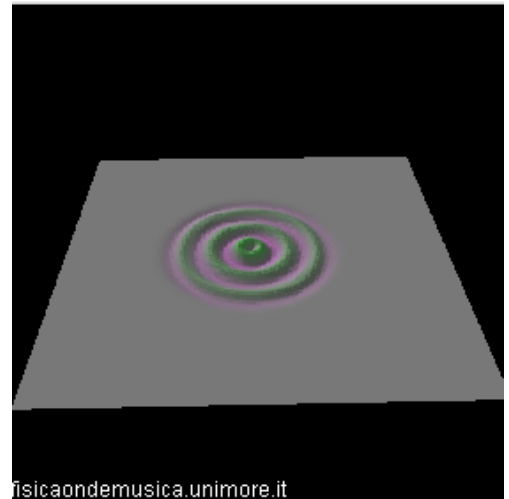
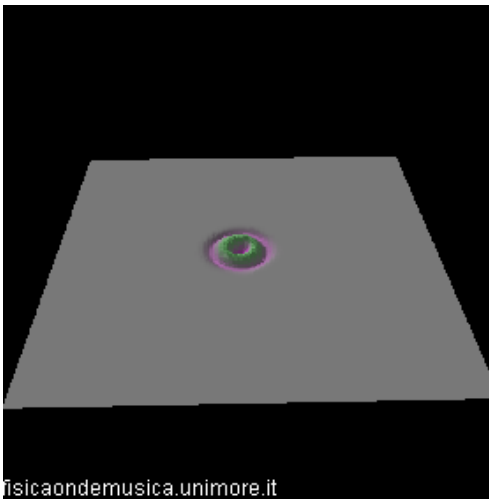
3. Propagazione di un fronte d'onda circolare

La foto che seguono mostrano la propagazione di un'onda caratterizzata da fronti d'onda circolari.

Visualizzazione in 2 D:



Visualizzazione in 3 D:



Osserviamo che:

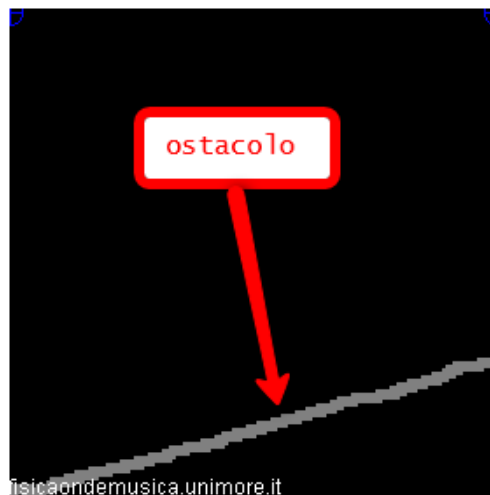
1. durante la propagazione i fronti d'onda permangono circolari
2. la lunghezza d'onda della perturbazione resta invariata.

Nelle fotografie è descritta una situazione ideale.

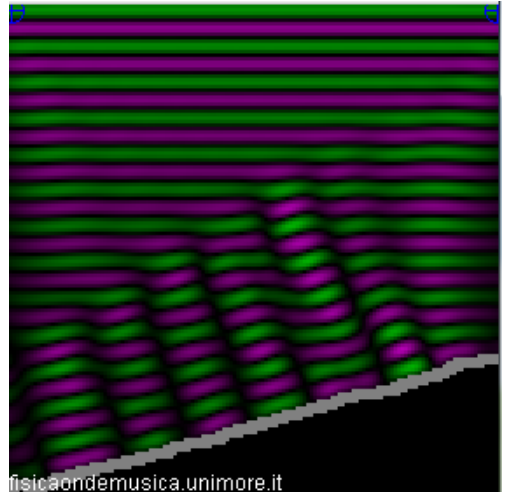
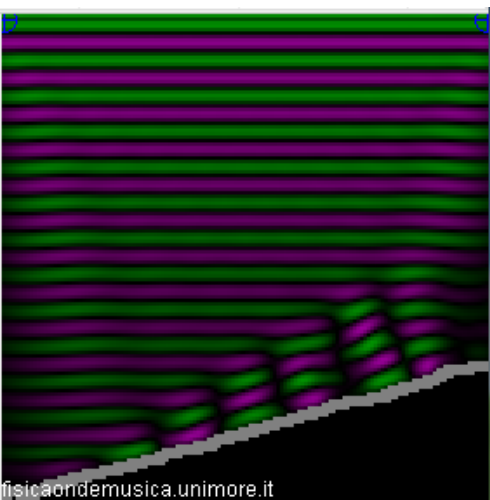
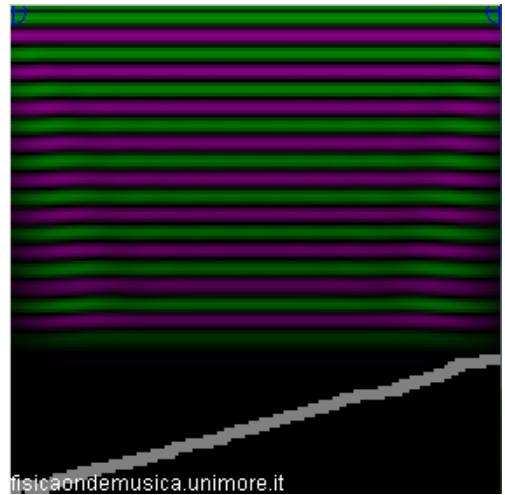
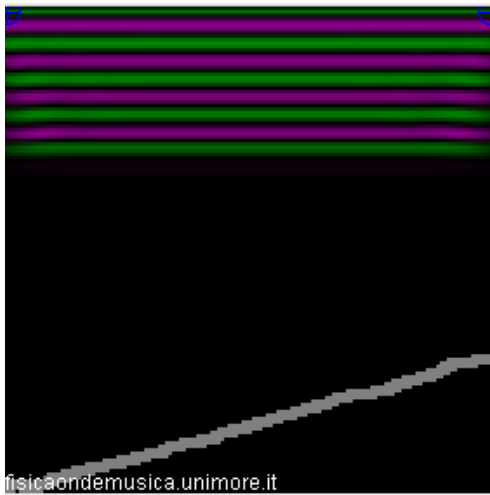
Nella situazione reale, infatti, come nel caso dei fronti d'onda rettilinei, l'onda propagandosi diminuisce progressivamente la sua ampiezza a causa dell'attrito viscoso dovuto al liquido in cui si propaga.

4. La riflessione

Consideriamo una perturbazione ondosa i cui fronti d'onda sono rettilinei e supponiamo di frapporre un ostacolo lungo il suo cammino:

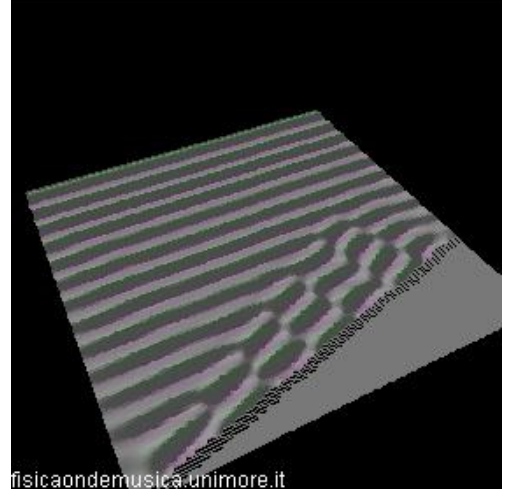
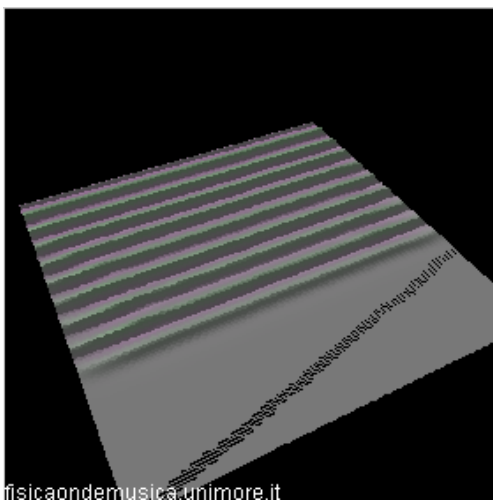


La sequenza di fotografie che seguono mostra quello che accade:



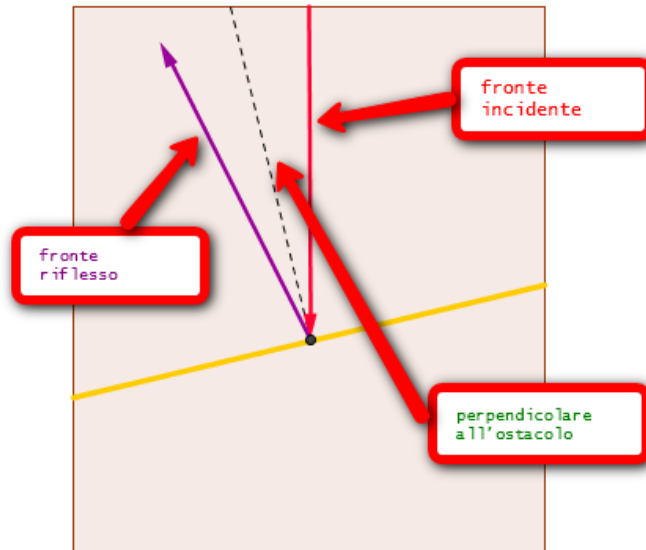
L'onda si infrange sull'ostacolo e si riflette, tornando cioè indietro.

Visualizziamo il fenomeno anche in 3D:



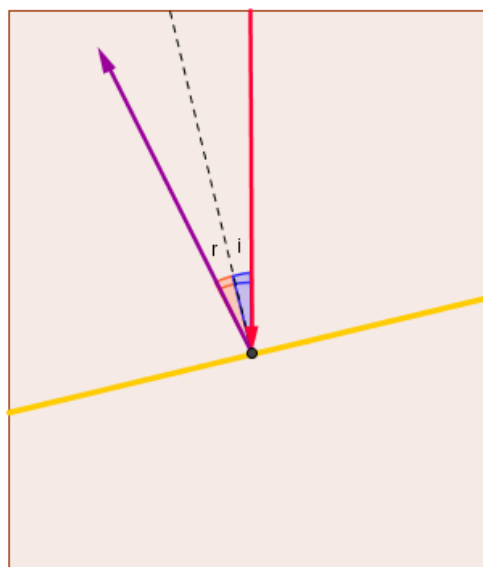
5. Analisi matematica della riflessione

Schematizziamo la situazione descritta nel precedente paragrafo, supponendo l'ostacolo rettilineo:



Chiamiamo angolo di incidenza i l'angolo che la direzione di propagazione dei fronti d'onda incidenti forma con la perpendicolare all'ostacolo; di riflessione r l'angolo che la direzione di propagazione dei fronti d'onda riflessi forma con la perpendicolare citata.

Visualizziamo i due angoli nella figura che segue:



Vale il seguente risultato:

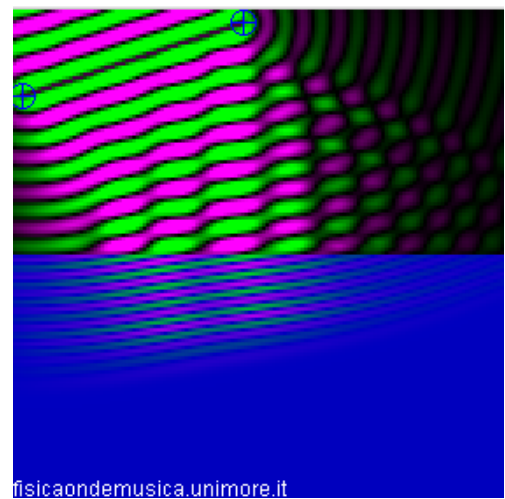
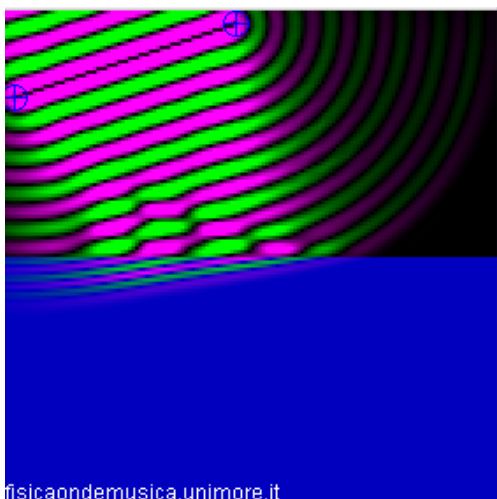
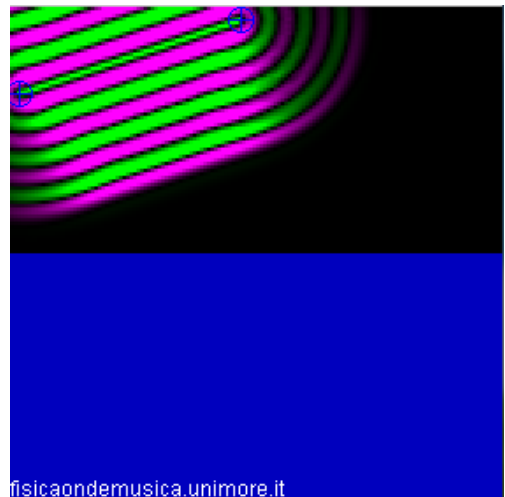
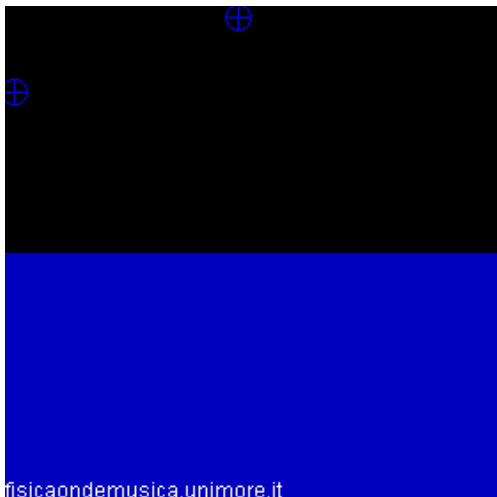
Legge della riflessione

L'angolo di incidenza i e l'angolo di riflessione r sono congruenti.

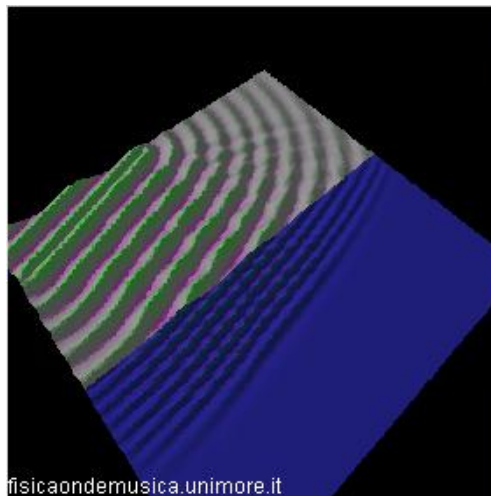
6. La rifrazione

Supponiamo che un'onda, caratterizzata da fronti d'onda rettilinei, passi da un mezzo ad un altro. Ad esempio, nel caso di un'onda che si propaghi nell'acqua si può pensare al passaggio dell'onda da una zona ad un'altra di differente profondità.

La seguente successione di fotografie ci aiuta a comprendere quello che accade:



Ecco anche la visualizzazione in 3D del fenomeno:



Nelle foto le due zone a differente profondità sono state colorate diversamente.

Osserviamo che nel passaggio da una zona all'altra:

1. la direzione di propagazione dei fronti d'onda varia
2. la lunghezza d'onda cambia.

In particolare, i fronti d'onda sono più distanziati nella zona a maggiore profondità², la qual cosa implica che, visto che la frequenza dell'onda resta uguale, l'onda si propaghi più velocemente nella zona a maggior profondità.

Chiamiamo rifrazione il fenomeno descritto in questo paragrafo.

7. Analisi matematica della rifrazione

Se indichiamo con f la frequenza dell'onda, con T il suo periodo, con λ_1 e λ_2 le lunghezze d'onda nelle due zone a differente profondità, ed infine con v_1 e v_2 le velocità dell'onda nelle due zone citate, si ha:

² Nelle immagini, la zona grigia dunque.

$$v_1 = \frac{\lambda_1}{T} = \lambda_1 f$$

$$v_2 = \frac{\lambda_2}{T} = \lambda_2 f$$

Pertanto:

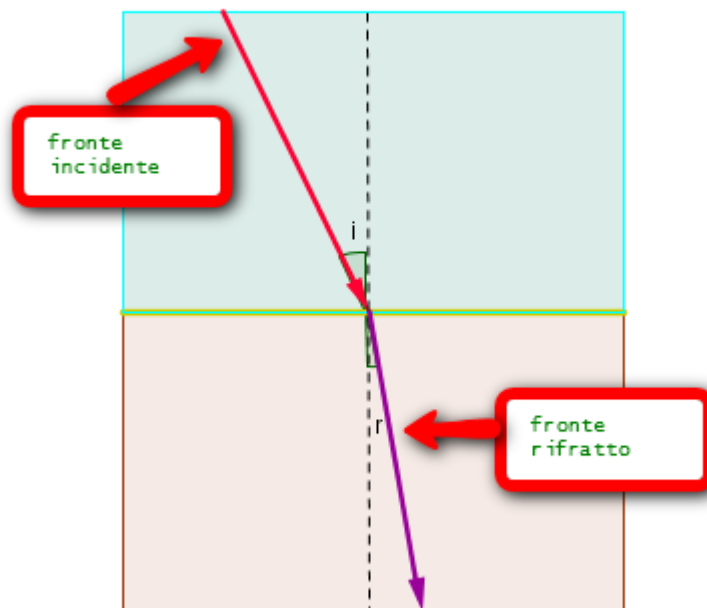
$$f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2},$$

da cui ricaviamo

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Quest'ultima formula consente di collegare le velocità con cui si sta muovendo l'onda alle lunghezze d'onda.

Schematizziamo infine la situazione descritta nel precedente paragrafo:



Vale il seguente risultato:

Legge della rifrazione

L'angolo di incidenza i e l'angolo di rifrazione r sono legati dalla relazione:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = k ,$$

dove k è un valore costante che dipende dai due mezzi attraversati dall'onda.

La precedente legge è anche detta Legge di Cartesio – Snell.

8. Diffrazione attraverso fenditure

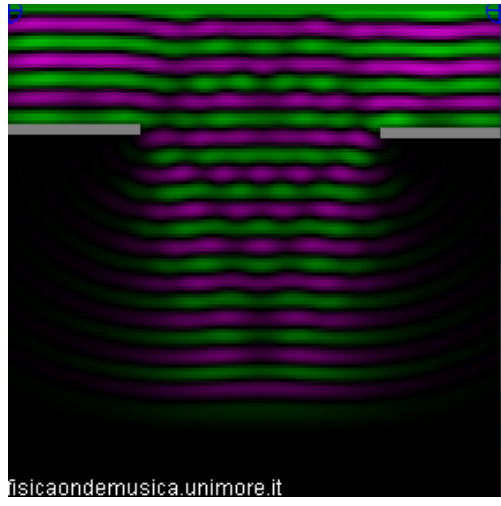
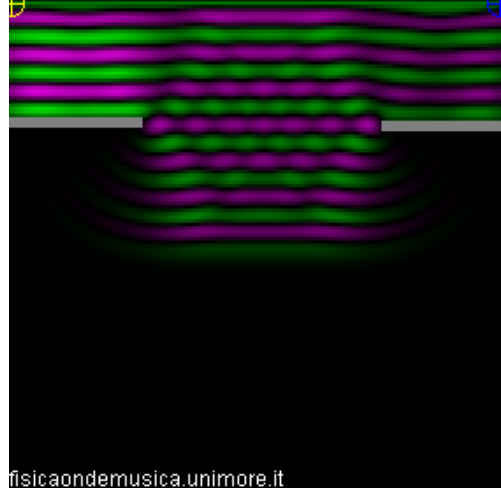
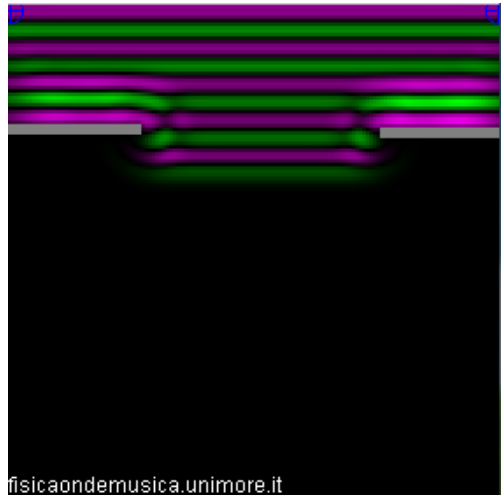
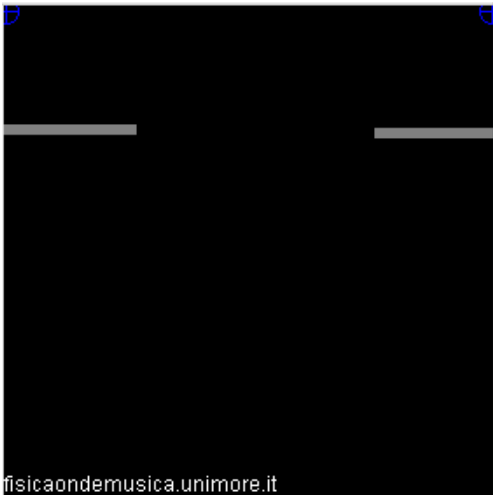
Chiamiamo diffrazione il fenomeno che si produce quando un'onda attraversa una fenditura oppure incontra un ostacolo.

Consideriamo un'onda caratterizzata da fronti d'onda rettilinei, che incontra sul suo cammino una apertura.

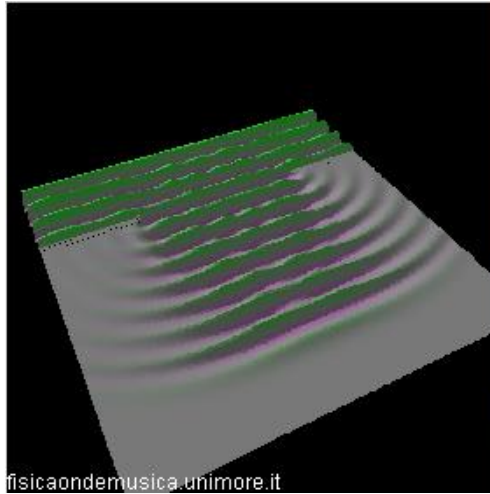
I caso

La fenditura ha una larghezza decisamente maggiore rispetto alla lunghezza d'onda del fronte incidente.

Esaminiamo quello che accade in 2D attraverso una sequenza di fotografie:



Ecco un'immagine in 3D del fenomeno:

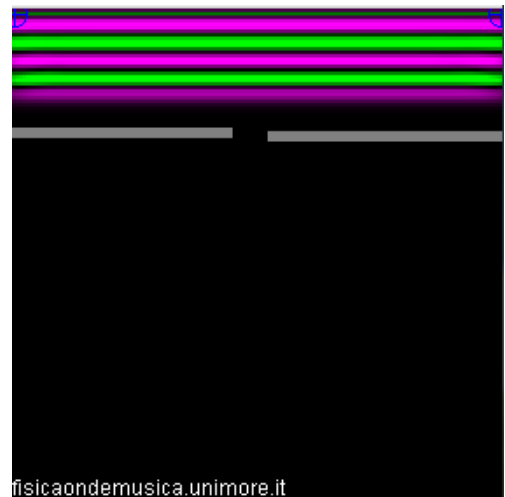
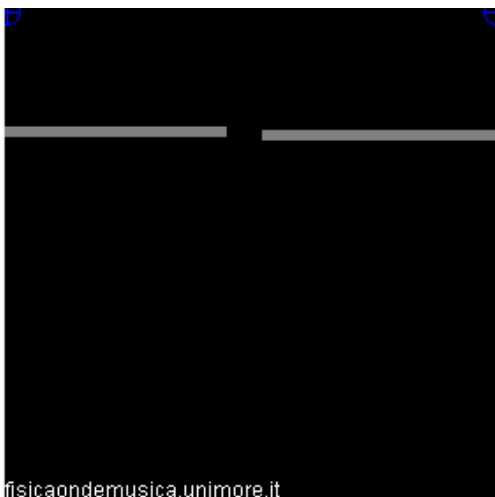


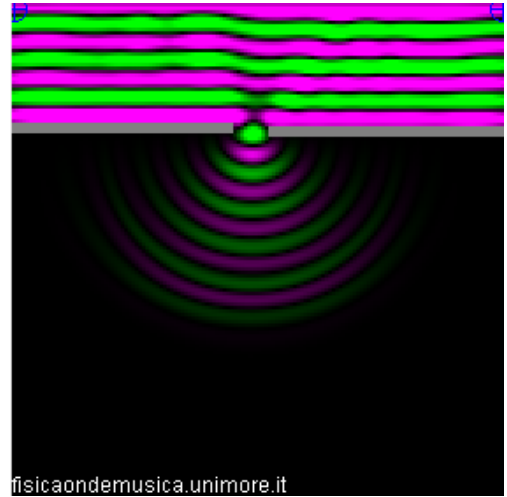
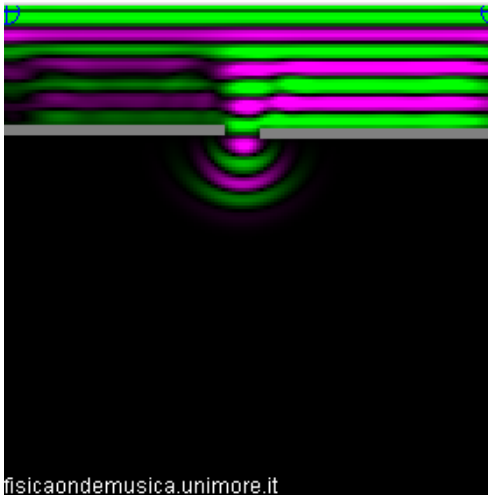
Osserviamo che i fronti d'onda proseguono quasi indisturbati al di là dell'apertura, a parte un leggero sfrangiamento ai bordi della stessa, nei quali i fronti tendono ad incurvarsi.

II caso

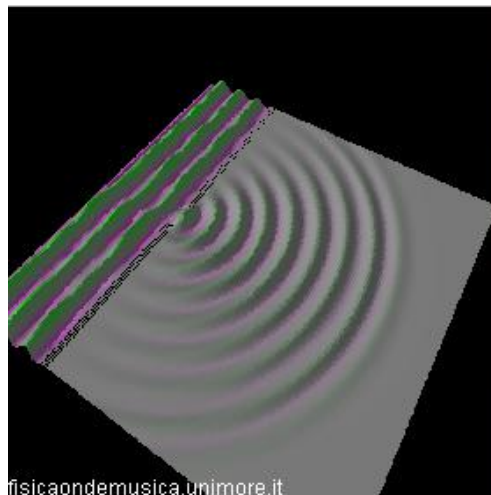
La fenditura ha una larghezza che ha lo stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda del fronte incidente.

Esaminiamo quello che accade in 2D attraverso una sequenza di fotografie:





Ecco un'immagine in 3D del fenomeno:



Osserviamo che i fronti d'onda, dopo il passaggio dall'apertura, assumono forma circolare, come se l'apertura stessa fosse una sorgente di onde circolari.

La situazione è pertanto assolutamente differente da quella illustrata nel I caso.

In entrambi i casi, la lunghezza d'onda non varia.

8. Diffrazione da parte di ostacoli

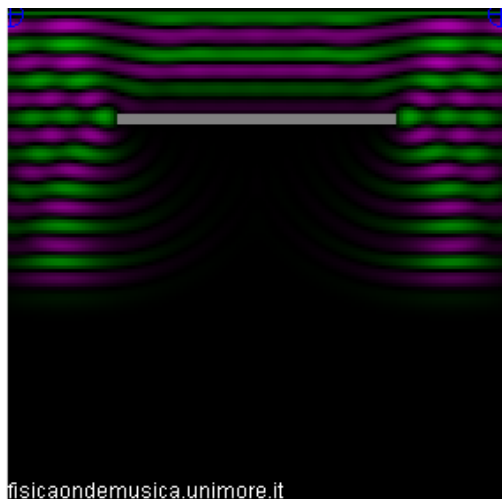
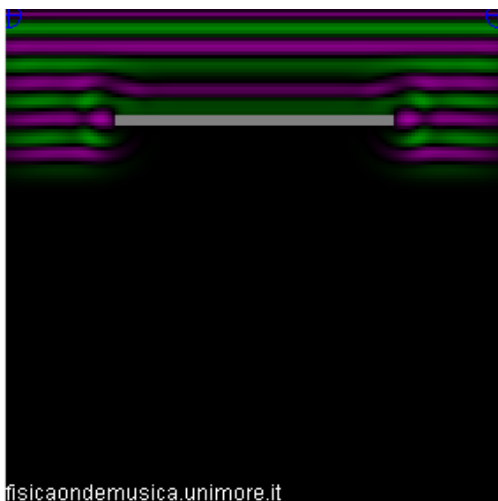
Vediamo cosa accade ad un'onda caratterizzata da fronti d'onda rettilinei quando incontra un ostacolo.

A tal fine, distinguiamo due casi.

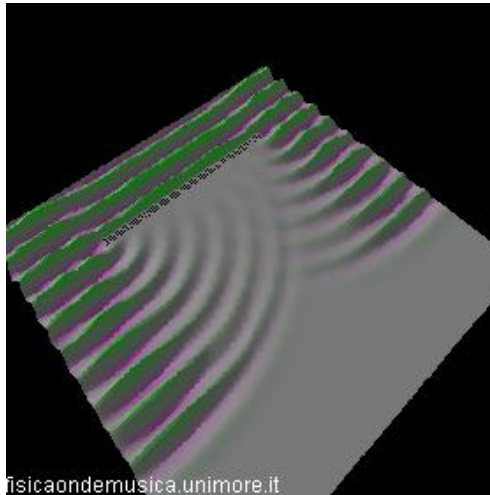
I caso

L'ostacolo ha una larghezza decisamente superiore alla lunghezza d'onda.

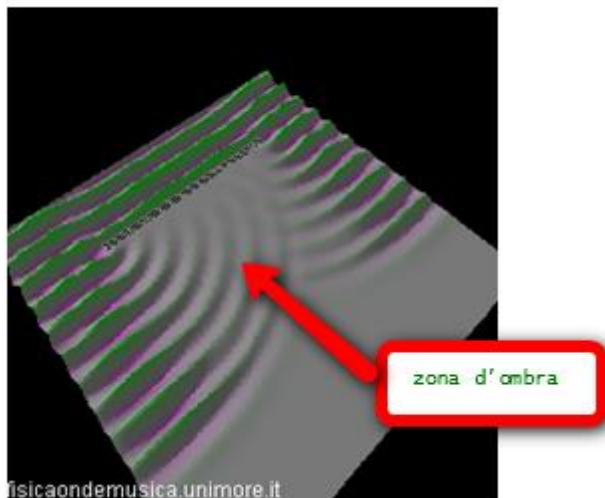
Esaminiamo quello che accade in 2D attraverso una sequenza di fotografie:



Ecco un'immagine in 3D del fenomeno:



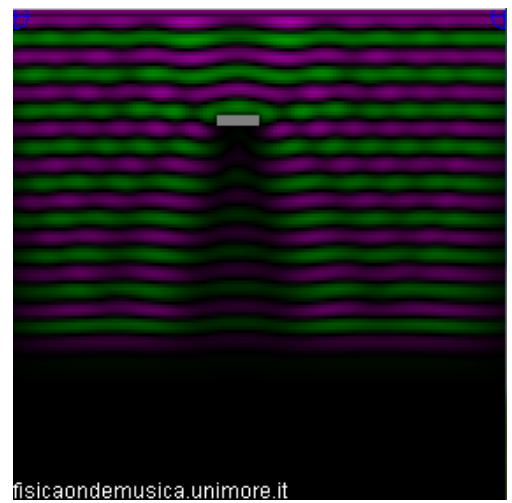
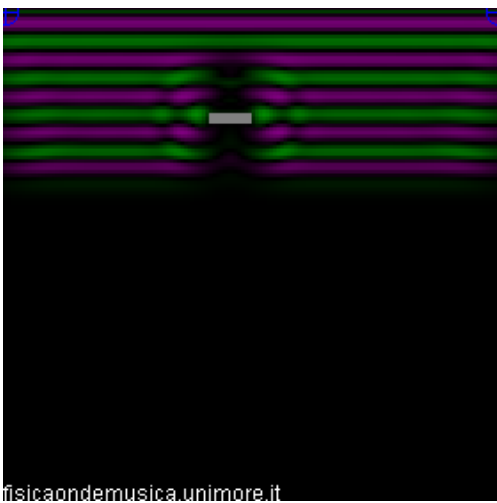
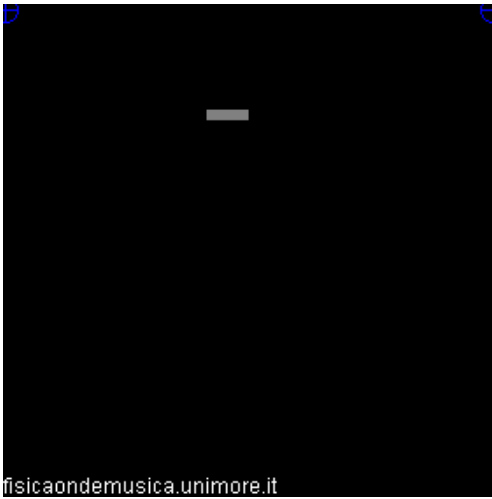
Osserviamo che l'onda tende a propagarsi con le medesime caratteristiche al di là dell'ostacolo e, a parte un leggero sfrangiamento ai bordi, a formare una zona di quiete (d'ombra) al di là dello stesso:



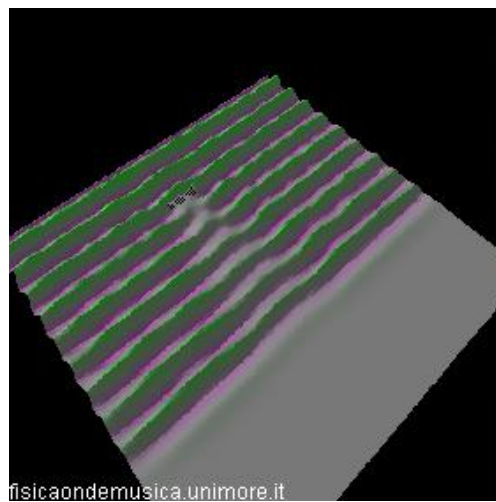
II caso

L'ostacolo ha una larghezza dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda.

Esaminiamo quello che accade in 2D attraverso una sequenza di fotografie:



Ecco un'immagine in 3D del fenomeno:



Osserviamo che l'onda aggira tranquillamente l'ostacolo, riformando quasi immediatamente i suoi fronti rettilinei al di là del medesimo.

