

Diffrazione

Scheda 30

30.1 Il fenomeno

Quando un'onda attraversa una fenditura di dimensioni paragonabili alla sua lunghezza d'onda, il fronte d'onda diventa circolare.

Cominciamo con l'osservare la figura 30.2. Immaginate un'onda con il fronte d'onda lineare, per esempio le onde del mare; immaginate adesso che tali onde passino attraverso lo spazio tra due file di scogli; dopo tale passaggio vedrete che il fronte d'onda dell'onda assumerà forma circolare. Osservate la figura 30.3. quest'immagine mostra il principio di Huygens-Fresnel secondo il quale in ogni istante della propagazione di un'onda, ogni singolo punto del fronte d'onda può essere pensato come sorgente di un'onda sferica. Istante dopo istante, il nuovo fronte d'onda è la sovrapposizione dei singoli fronti d'onda delle onde prodotte da ognuno di questi punti. Ciò che vogliamo fare è capire si distribuisce l'intensità dell'onda lungo il fronte d'onda quando consideriamo aperture di forma lineare o circolare.



Fig. 30.1: Guarda il video youtu.be/BH0NfVUTWG4



Fig. 30.2: Immagine di un fenomeno di diffrazione fotografato nella cittadina marittima di Termoli.

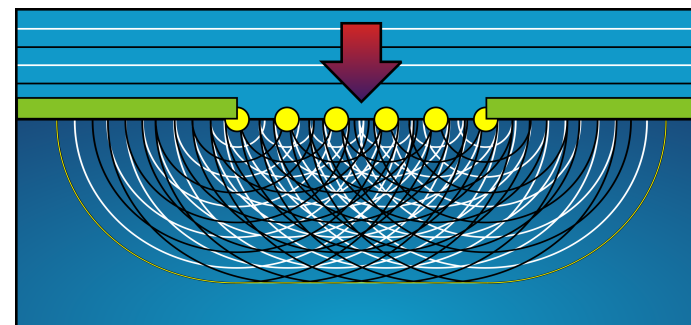


Fig. 30.3: Il principio di Huygens-Fresnel nella diffrazione di un'onda piana attraverso una fenditura.

30.2 Diffrazione da doppia fessura

Consideriamo due fenditure attraverso le quali facciamo passare la luce di un'onda piana con lunghezza d'onda molto maggiore della dimensione delle due fenditure. Tali fenditure sono quindi molto piccole. In uscita da ognuna delle due fenditure avremo quindi due onde sferiche tra loro in fase. Infatti per il principio di Huygens-Fresnel ognuna delle fenditure si comporta come una nuova sorgente di onde sferiche.

Vogliamo capire come la luce si propaga dopo aver attraversato le fenditure e di conseguenza in che modo illumina uno schermo posto di fronte ad esse, a distanza molto maggiore rispetto alla distanza tra le fenditure (vedi figura 30.5).

Cominciamo con il valutare la differenza di cammino dei due raggi luminosi. Lo schema geometrico da analizzare è mostrato in figura 30.4.

Considerando il triangolo rettangolo mostrato in figura, la differenza di percorso ΔS è determinata da

$$\Delta S = h \sin \beta$$

Per fare questa affermazione stiamo assumendo che i percorsi dei raggi luminosi siano paralleli. Dal momento che lo schermo si troverà ad una distanza dalle fenditure molto maggiore della distanza tra le fenditure ($D \gg h$) questa approssimazione è più che giustificata.

Se la differenza di cammino ΔS è un multiplo intero di lunghezze d'onda

$$\Delta S = n\lambda$$

, allora sullo schermo avremo una situazione di interferenza costruttiva perché le onde arriveranno in fase. Vedremo sullo schermo una zona illuminata.

Se la differenza di cammino ΔS è un multiplo intero dispari di semilunghezze d'onda

$$\Delta S = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

, allora sullo schermo avremo una situazione di interferenza distruttiva perché le onde arriveranno in opposizione di fase. Vedremo sullo schermo una zona non illuminata.

Sullo schermo, i raggi luminosi incideranno ad una distanza x dal centro dello schermo e quindi avremo (vedi la figura 30.5) la relazione

$$x = D \tan \beta$$

Considerando piccoli valori di β ne consegue che $\tan \beta \simeq \sin \beta \simeq \beta$.

Le posizioni sullo schermo dei massimi di intensità saranno in

$$x = d \tan \beta \simeq \frac{d\Delta S}{h} = n \frac{d\lambda}{h}$$

Le posizioni sullo schermo dei minimi di intensità saranno in

$$x = d \tan \beta \simeq \frac{d\Delta S}{h} = (2n + 1) \frac{d\lambda}{2h}$$

30.3 Diffrazione da singola fessura

30.3.1 Fessura rettangolare

Immaginiamo di avere una fessura di dimensione d e di farla attraversare da un laser monocromatico. Vogliamo capire come la luce si propaga dopo aver attraversato la fessura e di conseguenza in che modo illumina uno schermo posto di fronte alla fenditura a distanza molto maggiore rispetto alle dimensioni della fenditura stessa.

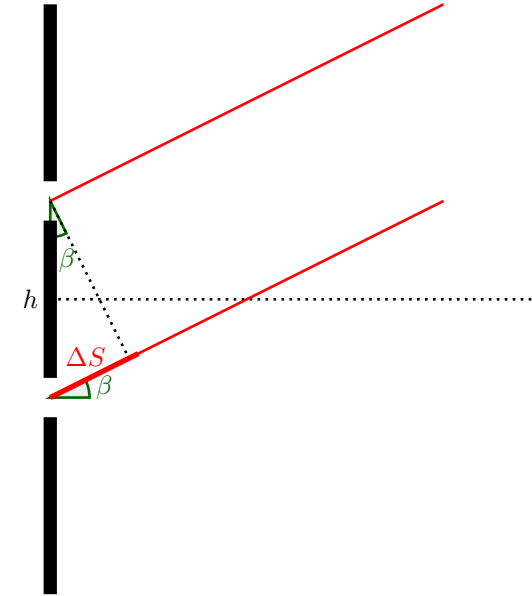


Fig. 30.4: Schema per comprendere il calcolo della differenza di cammino ΔS tra due raggi luminosi.

Il ragionamento che faremo è identico a quanto fatto nel caso di doppia fenditura, solo con una considerazione preliminare. Quando la luce attraversa la fessura, abbiamo detto che ogni suo punto diventa sorgente di onde sferiche. L'idea di base è quella di considerare inizialmente il punto superiore della fessura A ed il suo punto centrale O . Studiamo poi le condizioni di interferenza costruttiva o distruttiva di queste due sorgenti sullo schermo. Qualunque sia il risultato ottenuto, esso sarà anche valido per ogni coppia di punti uno dei quali si trova nella metà superiore della fessura ed il suo corrispondente si trova più in basso di metà della dimensione della fessura.

Quindi le condizioni di interferenza che valgono per i punti A ed O valgono anche per tutta la fessura.

Su di uno schermo lontano, in corrispondenza dell'angolo β indicato in figura 30.7, avremo illuminazioni differenti a seconda del verificarsi di interferenza costruttiva o distruttiva tra le onde. Avremo quindi o un picco di luce o una zona

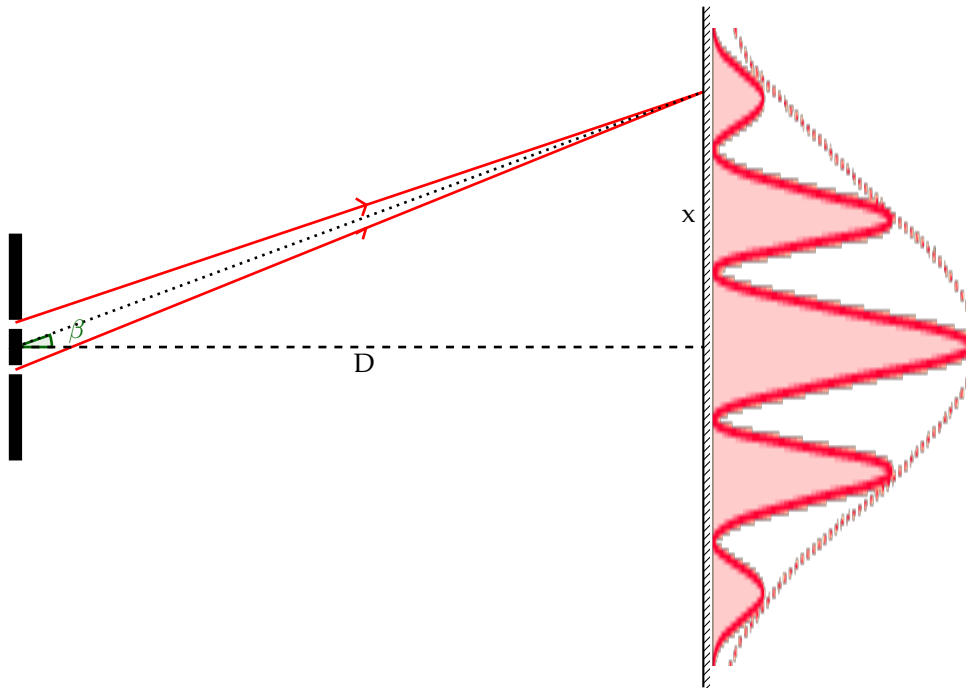


Fig. 30.5: I raggi luminosi interferiscono su di uno schermo verticale in ogni punto dello schermo. A seconda che l'interferenza sia costruttiva o distruttiva avremo un picco di luce o una zona di buio. L'intensità luminosa è mostrata nel grafico posto in verticale a destra dello schermo.

di buio.

Ciò che determina tale differenza, è la differenza di cammino ΔS delle onde prodotte dalle sorgenti puntiformi nella fenditura.

Osserva la figura 30.6. Se ΔS è un multiplo intero della lunghezza d'onda della luce, allora le onde arriveranno sullo schermo in fase ed avremo interferenza costruttiva. Questo avviene quando

$$\Delta S = n\lambda$$

Se ΔS è un multiplo intero dispari di semilunghezze d'onda, allora le onde arriveranno sullo schermo in opposizione di fase ed avremo interferenza distruttiva.

Questo avviene quando

$$\Delta S = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$

Detto tutto questo, consideriamo adesso la geometria del problema. Per prima cosa osserviamo che in figura 30.6 i raggi luminosi sono stati disegnati paralleli. Questo ovviamente non è corretto visto che, come mostrato in figura 30.7 essi convergono su di un punto dello schermo. Visto però che lo schermo è posto ad una distanza estremamente maggiore delle dimensioni della fenditura, questa approssimazione è del tutto giustificata.

Dopo esserci costruiti il triangolo rettangolo in figura 30.6, sappiamo che

$$\Delta S = \frac{d}{2} \sin \beta$$

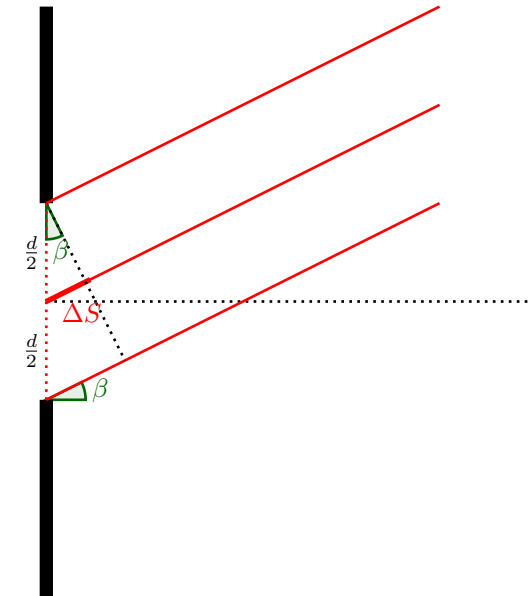


Fig. 30.6: Schema per comprendere il calcolo della differenza di cammino ΔS tra due raggi luminosi che attraversano la fenditura.

Stabilito che per certi valori di angolazione dei raggi luminosi avremo interferenza costruttiva e per altri angoli interferenza distruttiva, chiediamoci cosa vedremo guardando uno schermo su cui questi raggi vanno ad incidere. Chiamiamo x la distanza tra un punto dello schermo e il suo centro (in corrispondenza della fessura) e chiamiamo D la distanza tra la fessura e lo schermo. Assumiamo che $D \gg d$: i tre raggi luminosi indicati nel disegno, sebbene convergano su di un punto dello schermo, possiamo di conseguenza considerarli paralleli e quindi utilizzare le equazioni precedenti.

Quindi

$$\frac{x}{D} = \tan \beta \simeq \sin \beta = 2 \frac{\Delta S}{d}$$

Se vogliamo conoscere le posizioni x dei picchi luminosi sullo schermo avremo

$$x = \frac{2Dn\lambda}{d}$$

Se vogliamo conoscere le posizioni x delle zone buie sullo schermo avremo

$$x = \frac{D(2n+1)\lambda}{d}$$

In particolare per le applicazioni nel campo dell'ottica, è particolarmente utile conoscere la posizione x della prima zona di buio in modo da stimare le dimensioni della parte dello schermo dove, come mostrato in figura, si concentra la maggior parte dell'intensità luminosa.

Quindi

$$x_{1^{\circ} buio} = \frac{D\lambda}{d}$$

La distanza tra le due zone di buio, all'interno della quale incide la maggior parte dell'intensità luminosa, risulta essere

$$W_{ss} = \frac{2D\lambda}{d}$$

30.3.2 Fessura circolare

Nel caso la luce passasse attraverso un foro, si genereranno sullo schermo un'alternanza di zone di luce e di buio questa volta di forma circolare. Qualitativamente i

ragionamenti fatti per la fessura rettangolare rimangono validi; il diametro W della prima zona buia circolare sullo schermo (corrispondente quindi al diametro del cerchio centrale illuminato) è 1.22 volte il risultato ottenuto per la diffrazione da singola fessura rettilinea

$$W_{css} = 1.22 \cdot \frac{2D\lambda}{d}$$

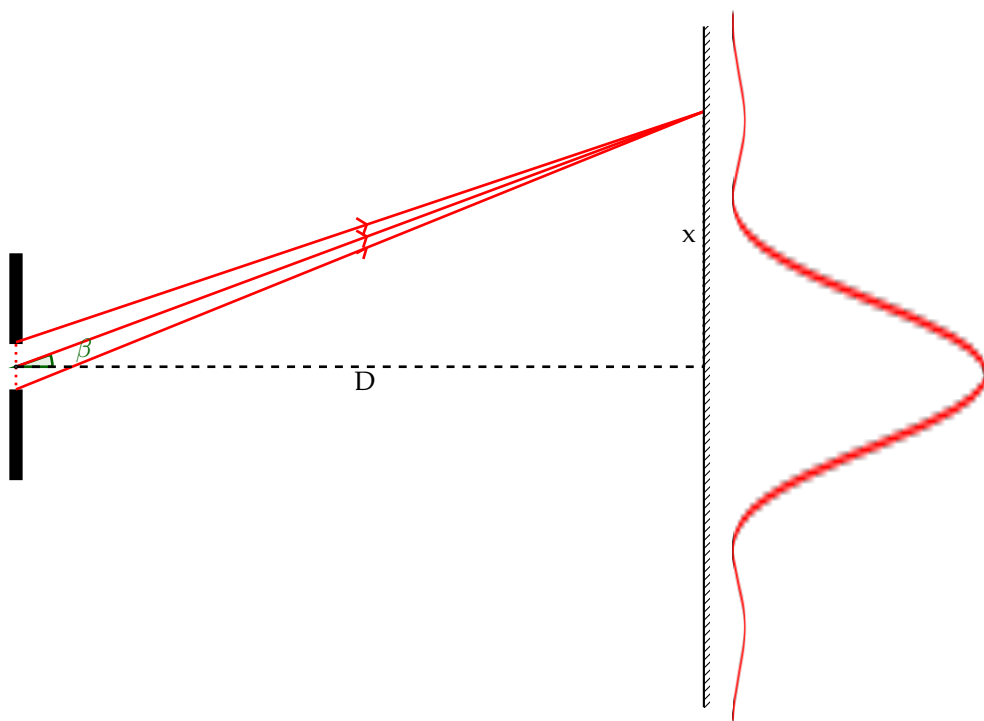


Fig. 30.7: I raggi luminosi interferiscono su di uno schermo verticale in ogni punto dello schermo. A seconda che l'interferenza sia costruttiva o distruttiva avremo un picco di luce o una zona di buio. L'intensità luminosa è mostrata nel grafico posto in verticale a destra dello schermo.