

Laboratorio di Ottica e Spettroscopia

Quarta lezione

Applicazione di tecniche di diffrazione
(Laboratorio II)

Antonio Maggio e Luigi Scelsi

Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio Astronomico di Palermo

Sommario 4^a lezione

Prima parte

- Riassunto dei principi di diffrazione e interferenza
- Descrizione delle esperienze da svolgere (Laboratorio II)
- Cenni di teoria della misura (incertezze su grandezze derivate)

Seconda parte

- Svolgimento delle esperienze

Il principio di Huygens

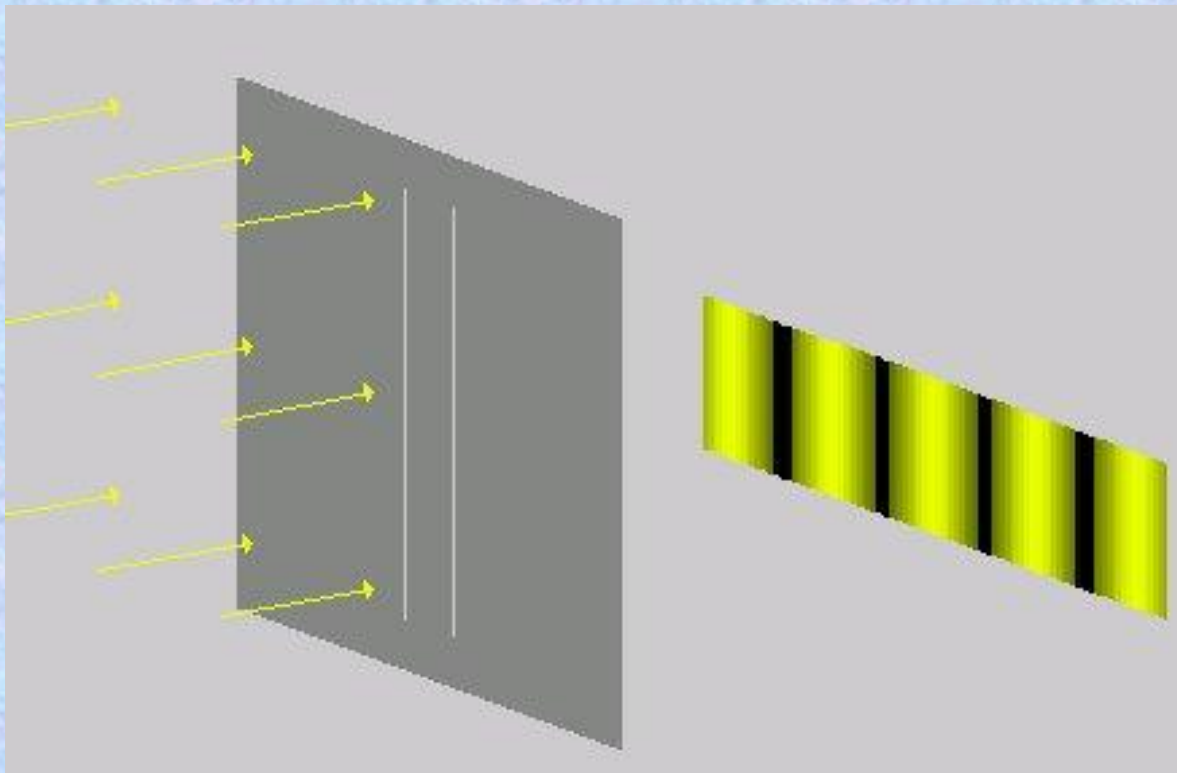
- **La luce si propaga come un'onda**: ogni punto raggiunto da un fronte d'onda, generata da una sorgente primaria, si comporta come una sorgente (secondaria) puntiforme di luce con le stesse caratteristiche (lunghezza d'onda, velocità di propagazione e fase).
- La composizione di tutte le onde secondarie genera il fronte d'onda successivo.

Principio di sovrapposizione e interferenza

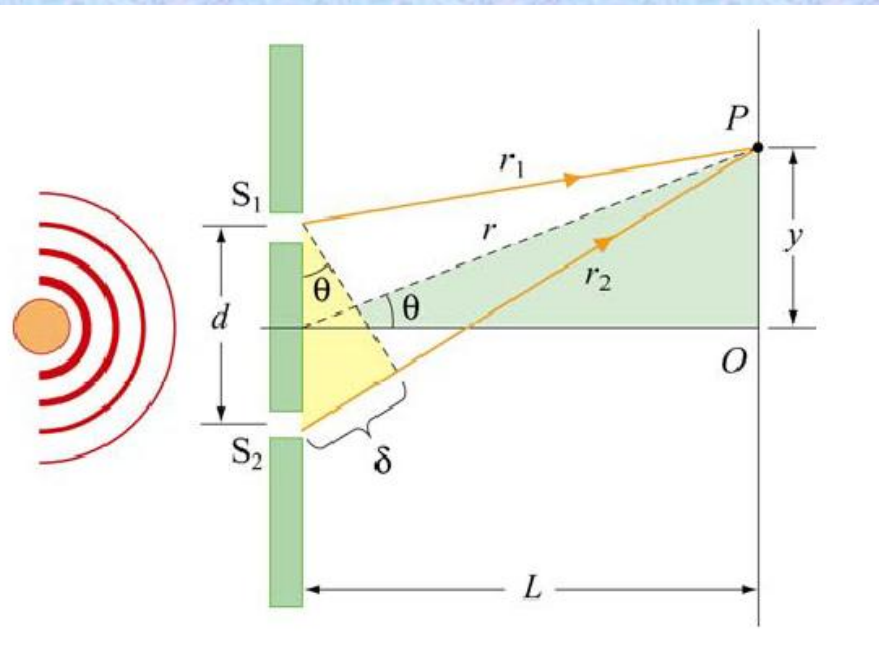
- Il segnale generato da due onde che si incontrano in un punto dello spazio ad un certo tempo è data dalla somma algebrica delle ampiezze dei segnali delle due onde
- Un'onda che mantiene nel tempo la stessa fase si dice *coerente*
- Un'onda caratterizzata da una singola lunghezza d'onda (o frequenza) si dice *monocromatica*
- La sovrapposizione di onde monocromatiche e coerenti genera una *figura d'interferenza*

Esperienza di Young

- Sommando la luce proveniente da due sorgenti (fenditure) vicine tra loro si ottiene una figura composta da *frange d'interferenza*

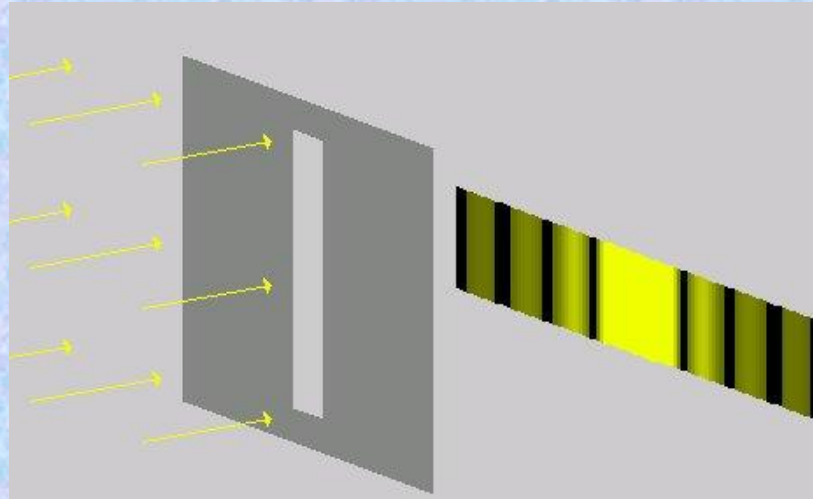


Interpretazione dell'esperienza di Young



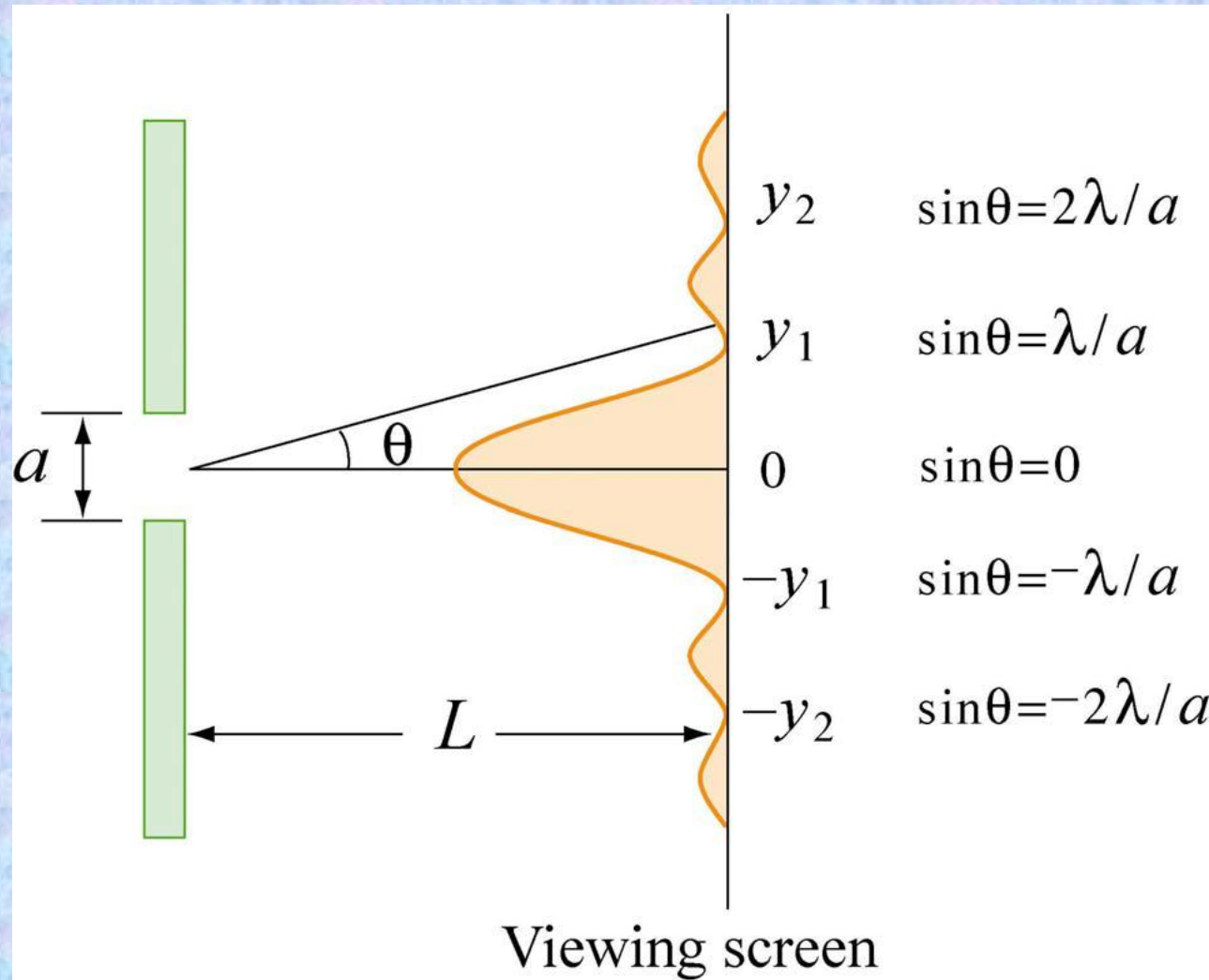
- La distanza del punto P dall'asse è
 $y = L \operatorname{tg} \theta$
- Si verifica interferenza costruttiva nei punti P dove **$\operatorname{sen} \theta = \delta/d = m\lambda/d$** con $(m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$
- Si verifica interferenza distruttiva nei punti P dove
 $\operatorname{sen} \theta = \delta/d = (m + \frac{1}{2}) \lambda/d$

Esperienze di diffrazione



- Se si usa una sorgente *monocromatica* (laser) e la *fenditura è abbastanza stretta*, si crea una *figura di diffrazione*

Diffrazione da singola fenditura



Diffrazione: alcune formule

- Condizione per il primo minimo (frangia scura) in una **figura di diffrazione** da una fenditura di ampiezza **a** :
 $a \sin \theta = \lambda$ (θ è l'angolo rispetto all'orizzontale)
- Se θ (in radianti) è piccolo **$\sin \theta \approx \theta$**
quindi **$\theta \approx \lambda / a$**
- Ampiezza angolare della frangia centrale generata dalla fenditura:
 $2 \theta \approx 2 \lambda / a$
- Distanza tra i due minimi d'intensità su uno schermo a distanza **L** dalla fenditura
 $D = 2 L \operatorname{tg} \theta \approx 2 L \theta$

Principio di Babinet

- **La figura di diffrazione generata da un qualunque ostacolo opaco** (di dimensione confrontabile con la lunghezza d'onda della radiazione incidente) **è la stessa della figura di diffrazione generata da una barriera con un'apertura della stessa forma e dimensione dell'ostacolo**
- **Spiegazione qualitativa:**
 - Una fenditura genera diffrazione
 - Se copro la fenditura ottengo zero segnale trasmesso
 - Se tolgo tutto tranne il rettangolo della fenditura ottengo di nuovo diffrazione
 - Per ottenere zero nel secondo caso, i segnali nel primo e terzo caso devono essere uguali e opposti
$$E_{\text{fenditura}} = -E_{\text{barriera}}$$
 - Siccome l'intensità è proporzionale al quadrato del segnale, sarà identica nel primo e nel terzo caso

Caso generale: due fenditure di ampiezza non trascurabile

Primo minimo
a $\text{sen}\theta = \lambda/a$

Massimo centrale
(ordine zero)

Massimo del
primo ordine
a $\text{sen}\theta = \lambda/d$

Profilo dovuto alla diffrazione

Distanza dei minimi legata
all'ampiezza a delle fenditure

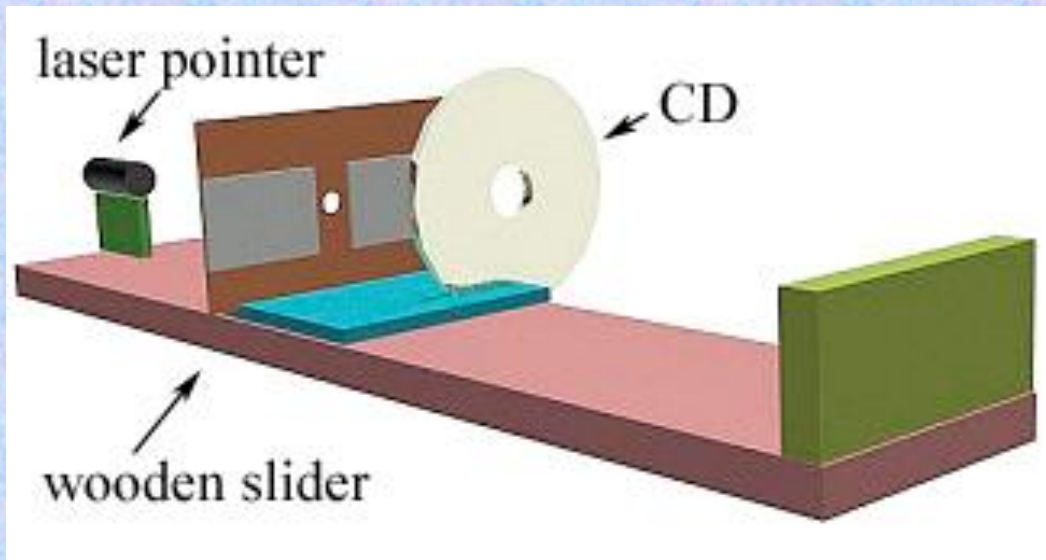
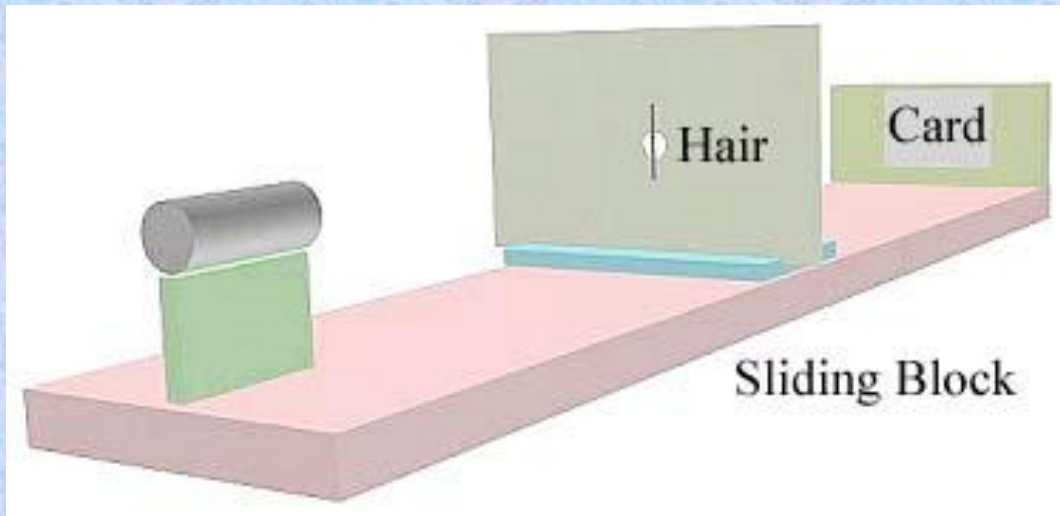
Struttura fine dovuta
a interferenza

Distanza dei minimi legata alla
separazione d delle fenditure

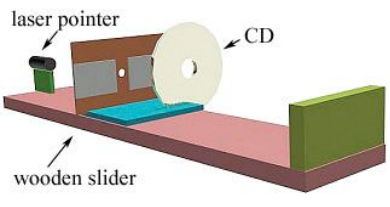
Diffrazione da un sistema di fenditure

- Una serie di numerose fenditure (o solchi) finemente spaziate costituisce un **reticolo di diffrazione**
- Ciascuna delle fenditure (o solchi), quando viene illuminato da radiazione monocromatica coerente, diventa a sua volta una sorgente (principio di Huygens); tutti i segnali si sommano (con il segno stabilito dalla fase) quando raggiungono lo schermo (rivelatore)
- Condizione per l'interferenza costruttiva lungo **la direzione di dispersione** :
 $d \sin \theta = m \lambda$ con **$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$** (**ordini spettrali**)
- Conoscendo la lunghezza d'onda λ della radiazione del laser, dalla misura degli angoli θ per i quali si verifica interferenza costruttiva è possibile ricavare la separazione **d** delle fenditure (o dei solchi)
- Effettuare l'esperienza prima con un CD-ROM e poi con un DVD. Quanto diversa è la spaziatura dei solchi?

Laboratorio II

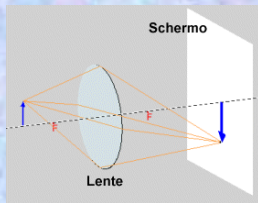


Conoscendo la lunghezza d'onda λ , dalle misure della distanza dell'oggetto dallo schermo, L , e delle posizioni delle frange di diffrazione, y_m , possiamo ricavare la dimensione dell'oggetto (spessore del capello o spaziatura dei solchi del CD-ROM)



Laboratorio II

- Primo passo: "spellare" un CD-ROM e ritagliarne un frammento vicino al bordo (1 - 2 cm di larghezza); posizionarlo davanti al laser
- Secondo passo: misurare la distanza L del campione dallo schermo e la distanza y_m degli ordini $m = \pm 1, \pm 2$ dall'asse (ordine zero); ripetere le misure utilizzando i laser verde e rosso; ripetere l'esperienza con un frammento di DVD
- Terzo passo: Derivare la spaziatura dei solchi utilizzando le formule della diffrazione da un reticolo e stimare l'incertezza sulla misura



Relazione sull'esperienza

Titolo: Misura di oggetti microscopici tramite tecniche di diffrazione

Autori: Nome, cognome e classe dei membri del gruppo

- Descrivete in breve la motivazione scientifica (diffrazione della luce)
- Descrivete in una frase lo scopo dell'esperienza
- Ponete un'eventuale domanda a cui rispondere
- **Svolgimento:**
 - Descrizione dell'attrezzatura
 - Descrizione degli oggetti da misurare (cosa, quanti esemplari, scelti come, ecc.)
 - Descrizione delle modalità di misura
 - Metodo di valutazione delle incertezze sulle misure e sulle quantità derivate
- **Risultati:**
 - Tabella delle misure
 - Calcolo delle grandezze e quantità derivate
 - Confronto dei risultati per i vari esemplari
- **Conclusione:** sintesi dei risultati e risposta sintetica alla domanda.

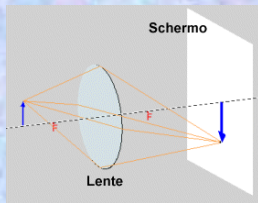


Tabella dei risultati

Oggetto (CD-ROM o DVD)	Osservatore	Distanza oggetto- schermo (L)	Distanze dei vari ordini dall'asse (y_m)	Valori medi e incertezze
1, 2, 3, ..., N	Marco	$\langle y_m \rangle \pm \Delta y_m$
	Giovanni	
	Enrico	
	ecc.	