# Politecnico di Bari
# Corso di Laurea in Ingegneria Informatica e dell'Automazione
# Fisica dell'Elettromagnetismo e dell'Ottica
# 12 settembre 2025 – ore 08.30 – Aula G

***tempo svolgimento 75 minuti***

**Per conseguire la piena valutazione di ciascuna prova è indispensabile indicare ordinatamente ed in modo esauriente tutti i passaggi necessari a ricavare le formule e calcolare le quantità richieste. Si considera superata la prova se si consegue una votazione almeno pari a 18/30. È obbligatorio rispondere ad almeno UN QUESITO TEORICO. In caso di svolgimento della prova sufficiente, ma non esaustivo, il docente si riserva la possibilità di effettuare un colloquio individuale per definire l'esito dell'esame.**

***Problema 1*** *[voto 8/30]*
Un laser uniforme di potenza $\mathcal{P} = 2\ W$ emette un fascio di raggio ***r=1.0 mm***. Il fascio si propaga **orizzontalmente** e incide **perpendicolarmente** sulla base di un disco piano il cui raggio è ***R=0.5 mm*** e lo spessore è ***d=0.1mm***. Calcolare:

1. la pressione di radiazione ***p*** e la forza ***F*** esercitate sul disco nei due casi seguenti:
   1.1 superficie del disco totalmente assorbente;
   1.2 superficie del disco parzialmente assorbente (coefficiente di riflessione $\eta=0.7$);
2. l'accelerazione instantanea impartita al disco, nel ***caso 1.2***, sapendo che è un disco di aerogel la cui densità è $\rho = 3\ kg/m^3$.

***Problema 2*** *[voto 8/30]*
Si consideri un sistema ottico costituito da una lente convergente ($f_c$***= 20 cm***) seguita da un diottro sferico di vetro (***n=1.5***) la cui superficie ha raggio di curvatura è (***R= 20 cm***), posti in modo tale che i raggi luminosi incontrano prima la lente convergente e successivamente il diottro. Sapendo che la distanza fra lente e superficie diottrica è ***d=10 cm***, determinare l'ingrandimento totale del sistema e costruire graficamente l'immagine di un oggetto posto a distanza $p_1$***=30 cm*** dalla prima lente.

***Problema 3*** *[voto 8/30]*
Un fascio laser monocromatico di lunghezza d'onda $\lambda$***=0.6 μm*** incide perpendicolarmente su un insieme di ***N=4 fenditure***, ciascuna di larghezza ***a = 20 μm***, con passo centro-centro ***d = 100 μm***. Su di uno schermo, a distanza ***L = 2.0 m*** si forma un sistema di frange chiare e scure. Calcolare:

1. la distanza lineare, sullo schermo, $\Delta y$ tra i massimi principali di ordine ***m=2*** e ***m=3***;
2. l'angolo $\theta_1$ e la distanza $y_1$ del primo minimo di diffrazione dal centro dello schermo;
3. la larghezza angolare del massimo principale centrale di interferenza e la corrispondente larghezza $\Delta y_c$ sullo schermo.

---

***Quesito 1*** *[voto 2/30]*
In quali condizioni si ha riflessione totale quando la luce incide sulla superficie di un materiale di indice di rifrazione ***n***? (discutere nel dettaglio)

***Quesito 2*** *[voto 2/30]*
Su che principio si basano le superfici antiriflesso comunemente utilizzate negli schermi dei cellulari? (discutere nel dettaglio)

***Quesito 3*** *[voto 2/30]*
Nelle normali condizioni di uso di un reticolo di diffrazione si può trascurare l'effetto della diffrazione? Quale condizione deve verificarsi perché ciò sia possibile? (argomentare la risposta)

SOLUZIONI dei problemi

**Problema n.1**

Detta ***S*** l'area di base del cilindro, calcoliamo l'intensità:

$$I = \frac{\mathcal{P}}{S} = \frac{\mathcal{P}}{\pi r^2} = \mathbf{6.36 \cdot 10^5}\ \frac{\boldsymbol{W}}{\boldsymbol{m^2}}$$

Se coefficiente di riflessione è $\eta$, la pressione di radiazione è data da:

$$p = \frac{I}{c}(1+\eta)$$

Mentre la forza esercitata è data dal prodotto della pressione per l'area investita da fascio laser, che è l'area $\Sigma$ del disco, quindi:

$$F = p \cdot \Sigma = \frac{I}{c}(1+\eta) \cdot \pi R^2 = \frac{\mathcal{P} R^2}{cr^2}(1+\eta)$$

Calcoliamo i valori nei due casi richiesti.

Disco totalmente assorbente ($\eta=0$)

$$p_1 = \frac{I}{c}(1+\eta) = \frac{I}{c} = \mathbf{2.12 \times 10^{-3}}\ \frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{m^2}}$$

e:

$$F_1 = \frac{\mathcal{P} R^2}{cr^2}(1+\eta) = \frac{\mathcal{P} R^2}{cr^2} = \mathbf{1.67 \times 10^{-9}\ N = 1.67\ nN}$$

Disco parzialmente assorbente ($\eta=0.7$)

$$p_2 = \frac{I}{c}(1+\eta) = \mathbf{3.60 \times 10^{-3}}\ \frac{\boldsymbol{N}}{\boldsymbol{m^2}}$$

e:

$$F_2 = \frac{\mathcal{P} R^2}{cr^2}(1+\eta) = \mathbf{2.84 \times 10^{-9}\ N = 2.84\ nN}$$

Infine, solo per il caso di disco parzialmente riflettente, calcoliamo l'accelerazione risultante:

$$a_2 = \frac{F_2}{m} = \frac{\mathcal{P} R^2}{m \cdot cr^2}(1+\eta) = \frac{\mathcal{P} R^2}{\rho \pi R^2 d \cdot cr^2}(1+\eta) = \frac{\mathcal{P}}{\rho \pi d \cdot cr^2}(1+\eta) = \mathbf{12}\ \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{s^2}}$$

**Problema n.2**

L'oggetto posto a distanza $p_1 = 30\ cm$ dalla lente, usando l'equazione delle lenti ricaviamo l'immagine prodotta dalla prima lente:

$$\frac{1}{p_1} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{f_c}$$

Da cui:

$$q_1 = \frac{p_1 \cdot f_c}{p_1 - f_c} = 60\ cm$$

Poiché la distanza fra lente e diottro è ***d=10 cm***, l'immagine generata dalla lente, che costituisce l'oggetto per il diottro, si formerà a distanza oltre la superficie diottrica, siamo quindi in presenza di un oggetto virtuale:

$$p_2 = d - q_1 = 10 - 60 = -50\ cm$$

Partiamo dall'equazione del diottro, nel nostro caso $n_1=1$ e $n_2=n=1.5$:

$$\frac{1}{p_2} + \frac{n}{q_2} = \frac{n-1}{R}$$

Da cui:

$$q_2 = n\frac{p_2 \cdot R}{(n-1)p_2 - R} = \frac{100}{3} = 33.34\ cm$$

L'immagine si forma oltre la superficie diottrica. Calcoliamo l'ingrandimento complessivo:

$$I = I_1 \cdot I_2 = \frac{q_1}{p_1} \cdot \frac{q_2}{n \cdot p_2} = \frac{60}{30} \cdot \frac{\frac{100}{3}}{\frac{3}{2}(-50)} = -\frac{8}{9} = \mathbf{-0.89}$$

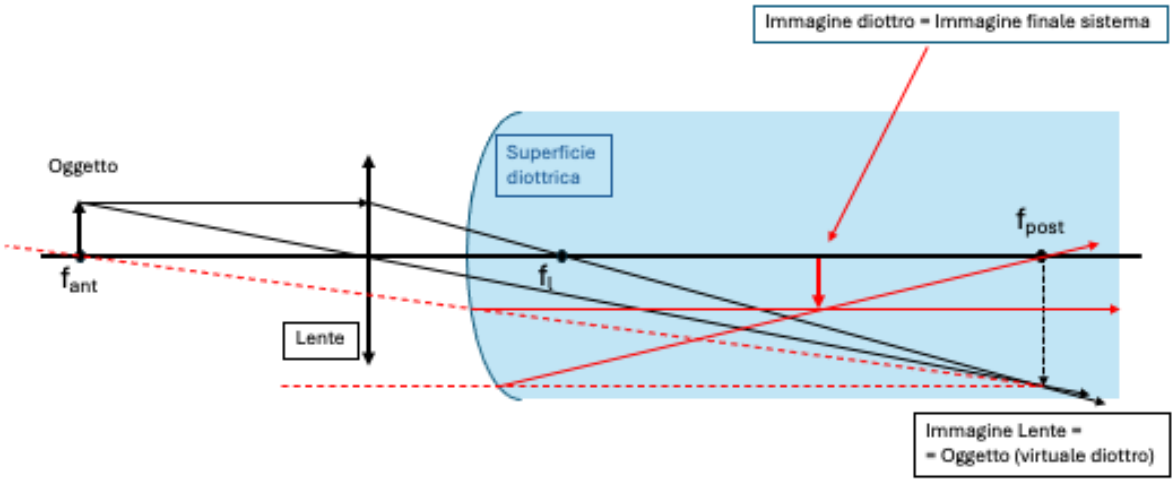
Per la costruzione dell'immagine è necessario calcolare i fuochi del diottro:

$$f_{post} = \frac{n}{n-1}R = \mathbf{60\ cm}$$

e

$$f_{ant} = \frac{1}{n-1}R = \mathbf{40\ cm}$$

Si vede subito che il fuoco anteriore si trova proprio nella posizione dell'oggetto, mentre quello posteriore, si trova nella posizione dell'immagine fornita dalla lente. La costruzione dell'immagine è la seguente. In NERO i raggi relativi alla lente, in ROSSO quelli del diottro.




**Problema n.3**

I massimi principali, indipendentemente dal numero di fenditure, sono dati da:

$$d\ \sin\theta = m\,\lambda$$

Imponiamo la condizione m=2 e m=3 e calcoliamo la posizione angolare dei due massimi:

$$sin\,\theta_2 = 2\,\frac{\lambda}{d} = 0.012$$

e:

$$sin\,\theta_3 = 3\,\frac{\lambda}{d} = 0.018$$

Siamo sicuramente nella condizione per la quale possiamo fare l'approssimazione di piccoli angoli. E quindi la spaziatura lineare fra i massimi sarà:

$$\Delta y = \frac{\lambda\,L}{d} = 0.012\,m = \mathbf{12\ mm}$$

Per rispondere alla seconda domanda ricordiamo la condizione dei minimi di diffrazione:

$$a\ sin\,\theta = m'\,\lambda$$

Il primo minimo sarà quello per il quale ***m'=1***:

$$sin\,\theta_1 = \frac{\lambda}{a} = 0.03$$

Siamo nuovamente nella condizione degli angoli piccoli, per cui:

$$sin\,\theta_1 \approx \theta_1 = \mathbf{0.03\ rad = 1.72°}$$

E la posizione sullo schermo sarà:

$$y_1 = l\,\theta_1 = \mathbf{0.06\ m = 6\ cm}$$

Infine, calcoliamo la larghezza del massimo centrale di interferenza. Ricordando che abbiamo ***N=4*** fenditure, si ha:

$$N\,d\ sin\,\theta = m''\,\lambda$$

Sappiamo anche che non tutti i valori di ***m''*** sono permessi. Infatti, il primo minimo adiacente al massimo centrale corrisponderà a ***m''=1***, da cui:

$$sin\,\theta_1 = \frac{\lambda}{N\,d} = 0.0015$$

Siamo sicuramente, di nuovo, nella condizione di piccolo angolo. La posizione dell'altro minimo adiacente al massimo centrale sarà quella corrispondente a ***m''= -1***:

$$sin\,\theta_{-1} = -\frac{\lambda}{N\,d} = -0.0015$$

E quindi:

$$\Delta\theta \approx \theta_1 - \theta_{-1} = 0.03\,rad$$

Che corrisponderà ad una larghezza, sullo schermo, pari a:

$$\Delta y_c = L\,\Delta\theta = \mathbf{6\ mm}$$