Autore del testo: Quirino Di Stasio
Esame: Metodi e Applicazioni per l'iperfrequenza e l'ottica.
Anno Accademico: 2017/2018

Prefazione:
Questi appunti sono inerenti al corso di MAIO tenuto dal prof D'Elia.
Sono un'elaborazione (fino all'argomento n°63) sinottica degli appunti scritti a penna reperibili sia da officina studenti che su CDP, uniti all'ultima parte sulle antenne (che sostituisce gli argomenti dal 63 in poi) redatta da Claudia Arcone, quest'ultima reperibile da officina studenti.

	Argomenti	Breve descrizione
1	Equazioni di Maxwell: soluzioni di ottica geometrica	Si ricavano le **equazioni di Maxwell** applicando le approssimazioni di ottica geometrica*. Si ipotizza che il mezzo sia normale e trasparente (no perdite) e che quindi K sia reale. Sfrutta la **congettura di Sommerfeld** introducendo la funzione iconale che sarà ricavata dalle equazioni di Maxwell approssimate. La **congettura di Sommerfeld** propone delle soluzioni particolari per le **equazioni di Maxwell**, per ricavare le equazioni di ottica geometrica si inserisce la **congettura di Sommrfeld** nel sistema di equazioni di Maxwell. Nella dimostrazioni viene definita l'impedenza caratteristica del mezzo. Si giunge dunque ad un nuovo sistema con 4 equazioni di cui la terza e la quarta dipendono rispettivamente dalla prima e dalla seconda (queste sono due equazioni vettoriali in R^3), siccome ci sono 7 incognite scalari è necessario quindi introdurre un'ulteriore equazione prendendo $\mathbf{H_0}$ dalla prima equazione e sostituendolo nella seconda. Si giunge dunque all'equazione dell'iconale *w tende a infinito e k è reale. *È di cruciale importanza ricordare:* • *Le proprietà dell'operatore nabla applicato ad un vettore moltiplicato per uno scalare (sia per la divergenza che per il rotore)* • *Il triplo prodotto vettoriale.*
2	Fronti d'onda, raggi ottici, vettore di poynting e densità di energia.	Si dà la definizione di raggio ottico e di fronte d'onda (piano dove l'iconale è costante). Sostituendo la **congettura di Sommerfeld** nell'espressione del vettore di **Poynting** e applicando le equazioni di ottica geometria si dimostra che i raggi ottici sono curve di flusso per il vettore di **Poynting**, in altre parole il vettore di **Poynting** punto punto ha la stessa direzione del raggio ottico. Viene riscritto il vettore di **Poynting** in termini di energia elettromagnetica sfruttando la congettura di Sommerfeld, l'ipotesi di mezzo senza perdite e la

		definizione di velocità di fase v_f=c/n. **Interpretazione fluidodinamica del vettore di Poynting** Dato un punto P si costruisce un cilindretto di volume ΔV di base ΔS e di altezza v_fΔt, si calcola la densità di energia elettromagnetica per unità di tempo e di superficie che attraversa il volume, questa si trova ad essere proprio il vettore di Poynting. Si imposta il problema grafico per calcolare la derivata direzionale di L rispetto a s, si trova che tale derivata è proprio pari all'indice di rifrazione n. Quindi dL=nds, quindi a parità di variazione della funzione iconale dL, i fronti d'onda risultano più addensati laddove n è maggiore e viceversa. *In un mezzo omogeneo l'indice di rifrazione è costante e quindi i fronti d'onda sono equidistanti.*
3	Il cammino ottico e il tempo di transito	Si definisce il cammino ottico tra due punti come l'integrale dell'indice di rifrazione **n** lungo una generica curva C che congiunge i due punti Sfruttando l'espressione n=dL/ds si dimostra che il cammino ottico lungo un un raggio ottico tra due fronti d'onda è indipendente dal raggio ottico scelto. Il cammino ottico può essere visto anche in un'altra forma sostituendo a n il rapporto c/v_f tenendo poi conto che v_f=ds/dt. Cioè come il prodotto della velocità della luce nel vuoto e il tempo di transito della radiazione lungo il raggio scelto($t(P_2)-t(P_1)$). Introduce il **principio di Fermat**: il raggio ottico è quella curva che rende minimo (stazionario*) il cammino ottico tra due punti dati. *tutti i parametri del cammino ottico hanno la derivata rispetto al tempo nulla.
4	Equazioni dei raggi ed a lcune proprietà	L'obbiettivo è ricavare l'equazione dei raggi ottici valutando la quantità **d(n*i_s)/ds** (1). Si imposta il problema grafico evidenziando come incognita proprio il raggio ottico tra due punti generici individuati dal vettore posizione rispetto all'origine rispettivamente **r** e **(r+dr).** Dunque se l'arco di curva che li unisce è molto piccolo si può approssimare con un segmento e quindi **dr=$i_s$ds**. Quindi si applica l'ultima espressione alla quantità (1). Applicando la definizione del versore **i_s** si giunge ad avere la derivata direzionale lungo **s** del gradiente di L. Studiando solo la componente lungo x si ricava che essa è la derivata direzionale di n sempre lungo x. Ripetendo il ragionamento analogamente per le altre componenti si giunge all'equazione dei raggi ottici. E cioè che la derivata lungo s di n*i_s (dove i_s=dr/ds) è

		pari al gradiente di n. Nel caso in cui il mezzo è omogeneo il gradiente di n è nullo, inoltre n può uscire dal simbolo di derivata e quindi la derivata seconda di r rispetto ad s è nulla, quindi la derivata prima di r rispetto a s è costante, questo significa che la funzione r(s) è una retta. I raggi ottici in mezzo omogeneo sono rettilinei mentre curvano nelle regioni ad indice di rifrazione variabile (in particolare si infittiscono nel verso crescente dell'indice di rifrazione). <u>Proprietà dei raggi ottici:</u> Si può scomporre il primo membro dell'equazione dei raggi svolgendo la derivata del prodotto. Si ricorre ad un ragionamento grafico per lo studio di di_s/ds ● **INVARIANTE DI LAGRANGE** La circuitazione di $n*\hat{s}$ è nulla. Cioè l'integrale della funzione $n*\hat{s}$ lungo una curva chiusa è nullo. Vale anche in presenza di superfici di discontinuità intersecate dalla curva.
5	Principio di Fermat	Dimostra il principio di Fermat con l'invariante di Lagrange integrale. Il raggio ottico è quella curva che rende minimo (stazionario*) il cammino ottico tra due punti dati. *tutti i parametri del cammino ottico hanno la derivata rispetto al tempo nulla.
6	Legge della rifrazione e della riflessione per i raggi ottici. (leggi di Snell) Con **l'invariante di Lagrange**	Dimostra le leggi di Snell con **l'invariante di Lagrange,** questo ha validità anche sulle superfici di discontinuità e quindi è comodo in questo caso.
7	Legge della riflessione **con il principio di Fermat**	Si dimostra la legge della riflessione con **il principio di Fermat** in un mezzo omogeneo
8	Equazione del trasporto di intensità	L'obiettivo è conoscere l'intensità del campo spostandosi da un punto ad un altro lungo un raggio ottico. Sfrutta il teorema di Poynting. Dimostra che l'intensità in un punto è legata all'intensità in un altro punto del medesimo raggio ottico (diversamente da quanto previsto dal principio di Huygens e dal teorema di equivalenza). L'ottica geometrica sostituisce una relazione integrale con una di tipo punto-punto.
9	Trasporto di intensità in un mezzo	Si semplifica la legge perché essendo il mezzo omogeneo i raggi sono rettilinei. E quindi lavorando

	omogeneo-	sulla geometria del problema si creano due superfici nello spazio (che sono quadranti di una superficie sferica) di cui una è proiezione dell'altra secondo i raggi ottici.
10	Interferenza, coerenza temporale, coerenza spaziale.	Introduce il concetto di interferenza (il campo in un punto è uguale alla somma dei campi in quel punto, questo non vale per generalmente per l'intensità). Dimostra e studia vari tipi di sfasamento tra due campi. Introduce e studia la coerenza temporale con uno specchio. Introduce infine la coerenza spaziale sfruttando l'esempio di una sorgente estesa.
11	Limiti dell'ottica geometrica	L'ottica geometrica si basa sulla congettura di Sommerfeld (campi e iconale lentamente variabili rispetto a λ). Lo mostra evidenziando i termini che si trascurano nelle equazioni di Maxwell. Inoltre bisogna trovarsi in zona lontana (succede quasi sempre perché la lunghezza d'onda è molto piccola).
12	Teoria geometrica dei sistemi ottici: introduzione e proprietà generali.	Introduzione al capitolo successivo. Introduce la nomenclatura e le convenzioni utilizzate
13	**Teorema di Maxwell**	Per un sistema ottico assoluto, il cammino ottico lungo una qualsiasi curva dello spazio oggetto è uguale al cammino ottico lungo la curva coniugata dello spazio immagine. Lo dimostra in un caso particolare: la curva nello spazio oggetto è un tratto di raggio ottico. HP: tutti i raggi ottici nello spazio oggetto siano nel campo dello strumento.
14	Trasformazioni conformi	Sono una diretta conseguenza del **teorema di Maxwell**: uno strumento assoluto realizza in generale una trasformazione conforme di spazio oggetto a spazio immagine. Per uno strumento assoluto grazie al teorema di Maxwell triangolo oggetto e triangolo immagine risultano simili (gli angoli vengono conservati). Questa trasformazione è conforme. Dà la definizione di trasformazione proiettiva. Conclusione importante: nei mezzi omogenei non esiste uno strumento ottico perfetto che consenta un ingrandimento diverso dall'unità. Strumento ottico perfetto: ogni figura oggetto è associata a una figura immagine simile.
15	Ottica Gaussiana: introduzione e notazioni	L'ottica Gaussiana: approssimazione parassiale e simmetria di rotazione. Introduce la sfera osculante: analogo del piano tangente per superfici di rotazione. Trova analiticamente la sfera osculante valida ad approssimare qualsiasi superficie di rotazione. Introduce la notazione che userà successivamente per

		lo studio dei sistemi ottici in ottica gaussiana.
16	Leggi e punti fondamentali delle trasformazioni proiettive	Introduce le formule generalizzate delle trasformazioni proiettive e in base alle approssimazioni dell'ottica gaussiana ricava i coefficienti da eliminare. A partire da queste ricava i punti cardinali di un sistema ottico, cioè le coordinate dei piani principali, dei piani focali. Introduce dunque l'ingrandimento trasversale (serve per il piano principale). Introduce, definisce e determina la distanza focale. Giunge **all'equazione di Newton.**
17	Applicazioni elementari delle trasformazioni proiettive	I tre modi geometrici per determinare un punto immagine a partire dal punto oggetto. Fa un esempio su come trovare trova il punto immagine sfruttando **la legge di Newton.**
18	Ingrandimento longitudinale, ingrandimento trasversale, *ingrandimento angolare, invariante di Lagrange (non è quello studiato fino ad ora)*	L'ingrandimento trasversale non dipende da y ma solo da z. Calcola l'ingrandimento trasversale con la legge di Newton. Introduce, definisce e calcola con **la legge di Newton** l'ingrandimento angolare (attenzione, vedere anche sull'altro libro). Introduce la definizione di piano nodale. Introduce e calcola una formula che mette in relazione angolo, ordinata e coefficiente di rifrazione di spazio oggetto e spazio immagine e **la chiama invariante di Lagrange.**
19	Potere della trasformazione	Cambia sistema di riferimento: le ascisse non riferiscono più ai piani focali bensì ai piani principali. Ha dunque un nuovo SRS, applica la **legge di Newton** e con dei calcoli giunge all'espressione del **potere della trasformazione F**.
20	Trasformazione telescopica	Analizza nel dettaglio le proprietà della trasformazione telescopica (b0=b0'=0). Calcola il rapporto f'/f (anche se questi tendono entrambi a infinito). Calcola l'ingrandimento trasversale, esso è costante e generalmente diverso da 1, dunque non solo non ci sono più i piani focali ma non è possibile nemmeno determinare i piani principali. Per questo motivo il SRS si riferisce arbitrariamente a due piani coniugati R e R'. Dimostra che anche l'ingrandimento longitudinale è costante. Dimostra che per avere uno strumento perfetto rispetto ai volumi in un mezzo omogeneo si deve avere m=1. (coerente con il **teorema di Maxwell**, esso dice infatti che in un mezzo omogeneo non esistono strumenti ottici perfetti con ingrandimento diverso dall'unità). Dimostra infine che anche l'ingrandimento angolare è costante.
21	Rifrazione da una semplice discontinuità sferica	Dimostra che realizza una trasformazione proiettiva. Imposta il problema attraverso il disegno. (P si trova sull'asse). Parte dalla **legge di Snell**. Usa gli angoli trovati dal disegno. Li scrive in funzione di ro, l, l' e r applicando le varie approssimazioni di ottica gaussiana. Giunge quindi alla **legge di Abbe**. Poi dimostra che la

		trasformazione sia proiettiva. Prende un punto fuori dall'asse e introduce un nuovo asse passante per quel punto. Se la trasformazione è proiettiva dove si trovano i piani focali? Li trova con la **legge di Abbe**. I piani principali coincidono col vertice della discontinuità sferica, SD. I piani nodali coincidono con il centro di curvatura C, SD.
22	Rifrazione da una discontinuità sferica: approccio propagativo.	Studia la propagazione di un'onda sferica attraverso la discontinuità e si avvale dell'interpretazione del cammino ottico attraverso il tempo di transito. Mette a confronto due cammini, quello reale e quello fittizio (come se non ci fosse la discontinuità). Anche qui si giunge alla **legge di Abbe**, SD.(però a lezione ha fatto i passaggi)
23	Doppia superficie rifrangente: la lente sottile in aria	Sono due discontinuità in cascata, imposta quindi il formalismo del disegno. Applica alle due discontinuità la **legge di Abbe**. Fa vedere che il potere complessivo è uguale alla somma dei poteri. Con la **legge di Abbe** si possono calcolare le due distanze focali. Studia infine un sistema di due lenti a contatto, anche qui fa vedere che il potere complessivo è uguale alla somma dei poteri.
22 (ripete i numeri)	Riflessione da una superficie di discontinuità sferica	Imposta il problema graficamente. Dimostra che è una trasformazione proiettiva. Parte dalla **legge di Snell**, sfrutta i risultati per gli angoli ottenuti nel caso della rifrazione (cambiano solo alcuni segni). Trucco matematico: n'=-n. Calcola infine il **potere della trasformazione**. Conclude che le superfici riflettenti possono essere trattate come le rifrangenti a patto di considerare n'=-n. Valgono quindi tutte le considerazioni già fatte per i punti fuori asse.
23(ripete i numeri)	La matrice delle costanti gaussiane per un sistema ottico complesso	Considera la successione di N superfici rifrangenti. Attraverso la legge del potere trova due equazioni che hanno come ingresso l'angolo j e l'ordinata j. • Equazione di rifrazione che serve a determinare l'angolo j+1. (come varia l'angolo mantenendo la quota invariata) • Equazione di traslazione che serve a determinare l'ordinata j+1. (come varia la quota mantenendo l'angolo invariato) *In entrambe le equazione vengono introdotti gli angoli e le distanze normalizzate.* Dalla prima equazione ricava la matrice di rifrazione R. Dalla seconda equazione ricava la matrice di traslazione T. Quindi il sistema complessivo è il prodotto dei due sottosistemi. Moltiplicando a sinistra per Rn (l'ultima matrice di rifrazione) giunge dunque alla **matrice delle costanti gaussiane M**.

24		*Per calcolare M è necessario conoscere tutti i poteri, tutte le distanze e tutti gli indici di rifrazione.* Moltiplicando angolo e quota di ingresso per M si calcolano angolo e quota di uscita. Infine fa un esercizio di esempio con due lenti sottili a contatto.
24	Determinazione dei punti cardinali di un sistema complesso mediante la **matrice delle costanti gaussiane.**	A partire della matrice delle costanti gaussiane calcola i punti cardinali. Trova prima la matrice delle costanti gaussiane totali introducendo due piani di coordinate incognite. Facendo variare tali coordinate incognite a seconda dei casi particolari (che sono quelli dei piani focali e dei piani principali) facendo valere le proprietà di questi casi particolari. In questo modo si determinano le coordinate dei piani per ogni caso particolare. Calcola dunque f e f'. Calcola la matrice delle costanti gaussiane per una coppia di piani coniugati. Calcola infine le coordinate dei piani nodali.
25	Tracciamento dei raggi in un sistema ottico complesso	Esplicita le tre modalità per ricostruire l'immagine di un punto P a partire dalla conoscenza dei piani principali e dei piani focali (per la terza modalità c'è bisogno di conoscere anche i piani nodali).

26	Classificazione delle trasformazioni proiettive	Classifica le trasformazioni proiettive in base al segno del prodotto ff'.
		• ff'<0 trasformazione concorrente (rifrazioni, rifrazioni e numero pari di riflessioni)
		    • f <0, f'>0: convergente
		    • f>0, f'<0: divergente
		
		• ff'>0 trasformazione controcorrente (numero dispari di riflessioni, numero dispari di riflessioni con rifrazioni)
		    1. f<0 f'<0 convergente
		    2. f>0 e f'>0 divergente

27	Diaframmi, pupille, step di apertura, stop di campo.	Introduce e definisce le pupille e i diaframmi. Definizione di sistema ottico telecentrico (quando lo stop di apertura è posto su un piano focale, se è posto nel piano focale principale *(secondario)* allora il sistema si dice telecentrico lato oggetto *(immagine).* Introduce e definisce il raggio principale (serve a localizzare l'ascissa della pupilla e l'estensione dell'immagine) e il raggio marginale (serve a localizzare l'immagine lungo z e determinare l'estensione della pupilla). Introduce e definisce lo stop di campo che si trova sullo schermo (serve per depurare l'immagine dalle componenti che si distanziano troppo dall'ottica parassiale). Se vario lo stop di campo cambiano le dimensioni dell'immagine ma non la sua luminosità. Se vario lo stop di apertura vario la luminosità dell'immagine ma non la sua dimensione.

28	Apertura numerica	Introduce e definisce l'**apertura numerica**. La calcola poi in approssimazione gaussiana. Essa ci dà informazione sulla capacità della lente di raccogliere e trasmettere intensità luminosa da oggetto e immagine. Fa poi un esempio mettendo a confronto due lenti diverse ma con eguale apertura numerica. Dimostra infine che esse forniscono un'immagine che ha la stessa luminosità.
29	Aberrazione cromatica: definizione e caratterizzazione	Spiega che l'aberrazione cromatica comporta per lo stesso oggetto che ci siano due immagini diverse a seconda della lunghezza d'onda dei raggi ottici. (perché il potere della trasformazione dipende da n che a sua volta dipende dalla lunghezza d'onda). Introduce il potere dispersivo del mezzo che in una prima espressione dipende dai poteri dello strumento alle tre lunghezze d'onda (giallo, rosso e blu), modifica la relazione per trovare due espressioni, una che dipende dagli indici di rifrazione e un'altra che dipende dalle distanze focali.
30	Correzione dell'aberrazione cromatica	Vuole annullare gli effetti dell'aberrazione cromatica. Ci sono due soluzioni. La prima soluzione consiste nel doppietto acromatico (si tratta di due lenti accostate. La prima lente è di tipo flint (potere dispersivo elevato), la seconda lente è di tipo crown (potere dispersivo basso). Fy è assegnato, si impone di avere Fb=Fr, si devono quindi determinare i quattro raggi di curvatura. Con i calcoli giunge dunque alla forma delle lenti del doppietto acromatico. La seconda soluzione consiste nel rendere stazionario il potere della lente (e quindi anche la focale) nell'intorno di un punto. Si prendono due lenti sottili e uguali in aria e si pongono a una certa distanza d. Infine calcola la distanza d e dimostra che deve essere uguale a f' (f'=f1'=f2').
31	La lente di ingrandimento e l'ingrandimento visuale	Introduce come funziona l'occhio umano (lo schermo è fissato). Dimostra con **l'invariante di Lagrange** che la quota alla quale si forma un'immagine dipende solo dall'angolo con cui essa viene vista (per ipotesi si mette sui piani principali). Introduce e dà la definizione dell'ingrandimento visuale. Fa l'esempio di una lente (inverte la destra con la sinistra) sottile attaccata all'occhio e calcola in questo caso il valore dell'ingrandimento visuale (che afferma poi essere l'ingrandimento ottimale). Esso dipende dal potere della lente, maggiore è F (minore è quindi f'), maggiore è l'ingrandimento della lente. Se l'oggetto capita nel primo fuoco della lente allora la sua immagine si troverà all'infinito.
32	Il microscopio	Introduce e studia la forma geometrica del microscopio. Calcola il potere e l'ingrandimento visuale.

33	Limiti alla risoluzione e diffrazione e **criterio di Rayleigh.**	Introduce il fenomeno della diffrazione (l'immagine non è più un impulso ma è rappresentabile in intensità come una sync), esso limita il potere risolutivo di uno strumento. Due immagini troppo vicine non saranno più distinguibili. La minima distanza è fornita dal **criterio di Rayleigh.** Nella formula del criterio di Rayleigh è presente l'apertura numerica. Ipotizzando che l'immagine P si formi sul secondo piano focale calcola l'angolo minimo (critico) con cui deve essere visto un oggetto con **l'invariante di Lagrange.**
34	Aberrazione monocromatica	Può esistere aberrazione anche in presenza di raggi ottici alla stessa lunghezza d'onda. Questo succede quando cade l'approssimazione di ottica parassiale. Fornisce un primo formalismo matematico per scomporre l'aberrazione in due componenti: longitudinale e trasversale. Questo primo formalismo non è adatto però a elaborazioni numeriche. Descrive quindi l'aberrazione come una perturbazione rispetto alla condizione ideale di uno strumento ottico normale. Definisce quindi una **funzione di aberrazione** con l'intento successivo di poterla scomporre in serie potenze (successivamente studierà i termini singoli della serie di potenze). Tale funzione di aberrazione sarà la differenza tra il fronte d'onda aberrato **L** e il fronte d'onda sferico (ideale) $\mathbf{L_0}$. Attraverso dei lunghi calcoli infine dà un'espressione dell'aberrazione trasversale in termini della **funzione di aberrazione**. Nei successivi studi verrà sempre trattata la componente trasversale dell'aberrazione detta appunto aberrazione trasversale.
35	Espansione in serie della funzione di aberrazione	Vuole sviluppare in serie di Taylor la funzione di aberrazione. Ridefinisce alcuni aspetti geometrici del problema. Introduce e definisce il piano meridiano, il piano sagittale e un nuovo sistema di coordinate polari. Esprime quindi la funzione di aberrazione con le nuove variabili polari. In base ad alcune considerazioni sull'ottica gaussiana esclude la presenza di alcuni termini nella serie di potenze. Trova dunque tre termini di base della serie di Taylor che compongono il termine generico. Dunque fornisce in forma tabellare i vari termini e ne dà una spiegazione fisica.
36	Aberrazione sferica	Studia il termine **ro alla quarta**, quello che causa l'aberrazione sferica. Supportato dai calcoli (anche qui entra in gioco il fatto che ha rappresentato la funzione di aberrazione cromatica in un SRS polare) traccia il diagramma e dà una spiegazione fisica all'aberrazione sferica. Definisce e fornisce l'ascissa del disco di minima diffusione.
37	(Aberrazione) Coma	Analogamente all'aberrazione sferica calcola e diagramma l'andamento dell'aberrazione coma. Anche

		qui bisogna tener conto che la funzione di aberrazione è stata fornita in coordinate polari mentre la funzione di aberrazione trasversale è data in termini dell'aberrazione data in coordinate cartesiane. Si deve quindi operare una conversione. Stavolta dell'aberrazione trasversale vengono fornite separatamente le due componenti cartesiane. La procedura grafica consiste di fissare prima il raggio e poi far variare l'angolo percorrendo la circonferenza.
38	Interferenza: metodi di analisi	Introduce lo studio dell'interferenza. Si studieranno due casi: ● Interferenza tra due fasci di raggi ● interferenza tra più di due fasci di raggi Per studiare l'interferenza c'è bisogno di coerenza spaziale e temporale, si userà quindi una sorgente puntiforme e degli interferometri che possono essere di due tipi: ● Divisione fronti d'onda (due aperture piccole) ● Divisione di ampiezza (specchio semiriflettente beam splitter) Quando ci sono le aperture piccole inizia a essere non trascurabile il **fenomeno della diffrazione**, tuttavia per adesso lo trascuriamo.
39	Interferenza tra due fasci	Considera due campi che si propagano nella stessa direzione. Vuole valutare l'intensità del campo risultante e lo fa con il vettore di Poynting nel dominio del tempo. Nella dimostrazione applica una formula di Maxwell nel dominio del tempo che non si è mai vista. Vuole calcolare la media dell'intensità nel tempo e quindi passa al calcolo dell'intensità nel dominio dei fasori (qui ha scomposto le componenti lungo x e lungo y)
40	Interferenza tra due fasci	Introduce graficamente il sistema dell'interferometro di Young. Una sorgente puntiforme irradia su uno schermo dove sono praticate due aperture puntiformi. Dimostra che da queste ultime si irradiano due onde sferiche che sono coerenti e quindi adatte allo studio dell'interferenza. Dimostra che i punti dello spazio per cui lo sfasamento tra i due fronti d'onda (che si propagano dalle due aperture) si trovano su delle iperboloidi. Queste iperboloidi intersecano lo schermo proiettando un'iperbole, nell'approssimazione gaussiana tali iperboli si approssimano con segmenti rettilinei e sono chiamate frange di interferenza. Dunque l'intensità luminosa sullo schermo si distribuisce su delle strisce di chiaro-scuro. Calcola lo sfasamento delta in termini dei parametri geometrici del sistema, della lunghezza d'onda e dell'indice di rifrazione. Calcola il periodo delle frange di interferenza. Definisce l'ordine di interferenza (ordini interi=picchi; ordini dispari=gole)