

Università degli Studi di Palermo
Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali
Corso di Laurea in Fisica

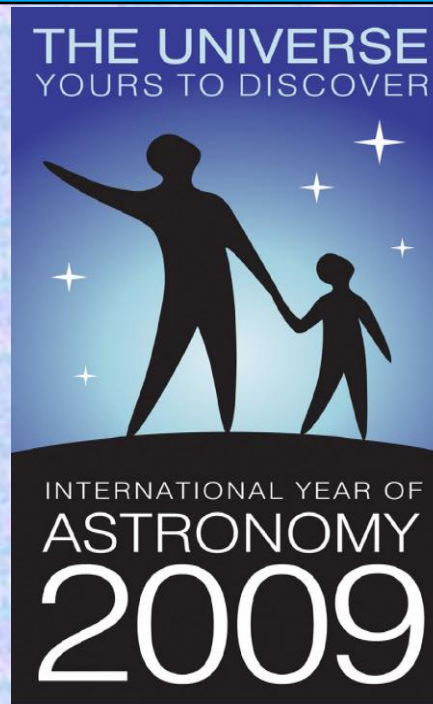
Progetto Lauree Scientifiche
Laboratorio di
Ottica, Spettroscopia, Astrofisica



Antonio Maggio
Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio Astronomico di Palermo



Istituto Nazionale di Astrofisica Osservatorio Astronomico di Palermo



2009

Anno Mondiale dell'Astronomia

2009: Anno mondiale dell'Astronomia

Perchè

Celebrazione dell'astronomia e del suo contributo sociale e culturale, in occasione del 400° anniversario delle prime osservazioni telescopiche del cielo effettuate da Galileo

Scopo

Aiutare a comprendere la nostra collocazione nell'Universo attraverso l'osservazione del cielo; scoprire il senso di meraviglia e curiosità che motiva l'interesse per la ricerca scientifica



Cosa faremo

- **Realizzeremo semplici strumenti ottici** (capendone il funzionamento tramite esperienze) per esplorare il comportamento della luce e per ottenere informazioni sul mondo che ci circonda e su oggetti di interesse astrofisico
- **Affronteremo problemi scientifici e tecnici:** per esempio, come "ricavare" dalla luce informazioni migliori di quelle fornite dall'osservazione diretta (a occhio nudo) ?
- **Comprenderemo le caratteristiche della radiazione**, il tipo di informazione che trasporta e il modo di estrarre tale informazione, in modo quantitativo

Cosa faremo

- **Laboratorio I**
Funzionamento di un telescopio rifrattore e di un *Sunspotter*. Osservazioni del cielo.
- **Laboratorio II**
Test di specchi concavi per telescopi riflettori tramite apparato di Ronchi/Foucault.
- **Laboratorio III**
Realizzazione di uno spettroscopio. Analisi della luce proveniente da sorgenti diverse.

Prima lezione

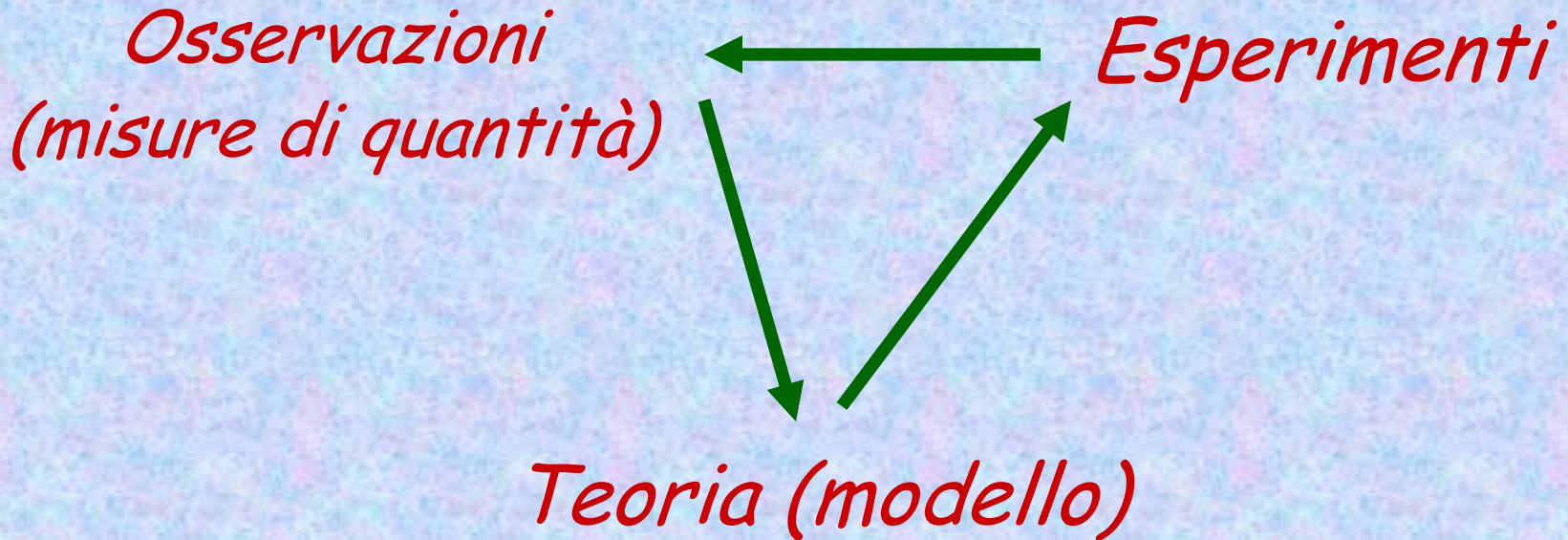
Sommario

- Modelli, teorie, esperimenti
- Un modello per la propagazione della luce
- Funzione di un sistema ottico
- Esperienze di ottica geometrica con un'apertura di grandi dimensioni
- Esperienze con un foro stenopeico
- Esperienze con una lente
- Esperienze con il banco ottico

Modelli, teorie, esperimenti

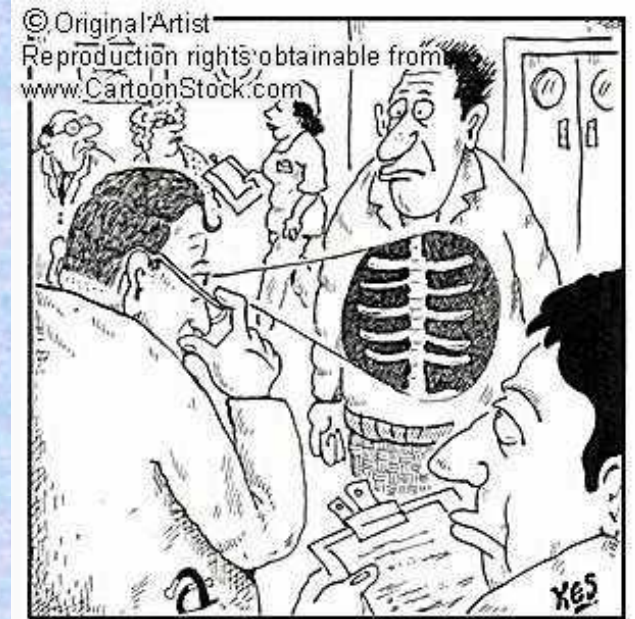
- La Fisica si occupa di trovare relazioni tra **quantità misurabili**
- La **teoria** ordina i fatti osservativi con un **modello**, un'**ipotesi**
- La teoria non deve solo spiegare i fatti osservati, ma deve anche **prevedere** il risultato di un **esperimento** ancora da compiere
- L'arbitro della **teoria (modello)** è l'esperimento
- Compito del fisico è quello di sviluppare teorie e modelli che siano **verificabili** (o meglio, **falsificabili**, secondo K. Popper)

Un circolo virtuoso



- Il punto di partenza può essere uno qualsiasi dei tre, ma il processo di crescita della conoscenza è sempre iterativo
 - Un esperimento può fornire misure di quantità che servono a costruire un modello
 - L'osservazione di un fenomeno imprevisto può richiedere una nuova teoria per spiegarlo
 - Una teoria necessita di esperimenti per corroborarla

Modelli e pregiudizi



Whilst his cousin, Clark, fought for freedom, justice and the American way. Doctor Neville Kent, chose a more orthodox way of using his abilities for the good of mankind.

- Non illudetevi di poter fare a meno dei modelli!
 - Spesso li utilizzate senza rendervene conto, in modo acritico e non verificabile (v. esempio della visione a raggi X di Superman)
 - Alcuni modelli (errati e non verificabili) possono diventare pregiudizi difficili da estirpare (ad es. il modello della visione proposto dalla scuola pitagorica e poi sostenuto da Euclide)

Modelli per tutti i gusti

- Potreste sentire parlare di diversi tipi di modelli:
 - Modelli fisici (qualitativi e quantitativi)
 - Modelli matematici (lineari, non lineari, caotici)
 - Modelli euristici (che aiutano a comprendere meglio)

Modelli, istruzioni per il "montaggio"

- **Esempio di meccanica:**

Un filo fissato in alto ad una estremità viene caricato con diversi pesi. Il filo resiste con un peso da 1 kg, ma si rompe con un peso da 2 kg.

Che è successo?

Come facciamo a verificarlo?

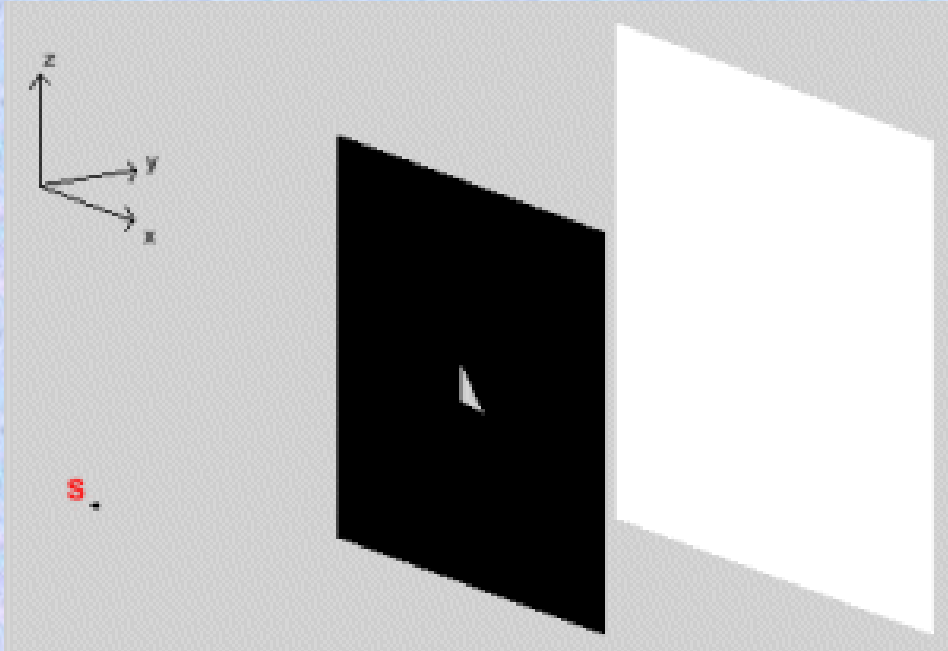
- **Un possibile modello descrittivo:**

Per ogni filo di una data struttura S (determinata dal materiale, dallo spessore, ecc.) esiste un peso caratteristico p tale che il filo si spezzerà per ogni peso maggiore di p che venga sospeso ad esso. Per il nostro specifico filo il carico di rottura è ...

Un modello per la propagazione della luce

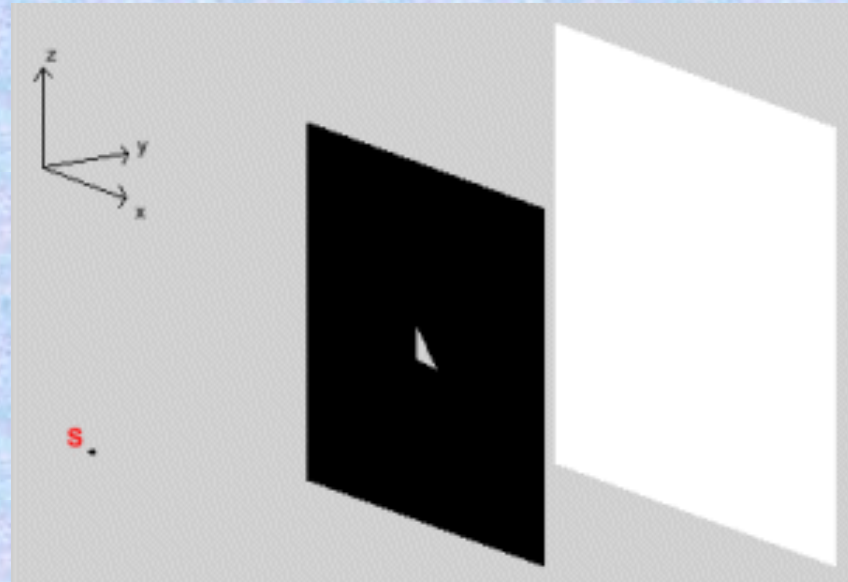
- **Esempio di ottica:**

In una stanza buia una sorgente luminosa puntiforme S si trova di fronte ad uno schermo bianco. Un cartoncino nero con una piccola apertura triangolare (dell'ordine del cm) è posto tra la sorgente e lo schermo, come mostra la figura.



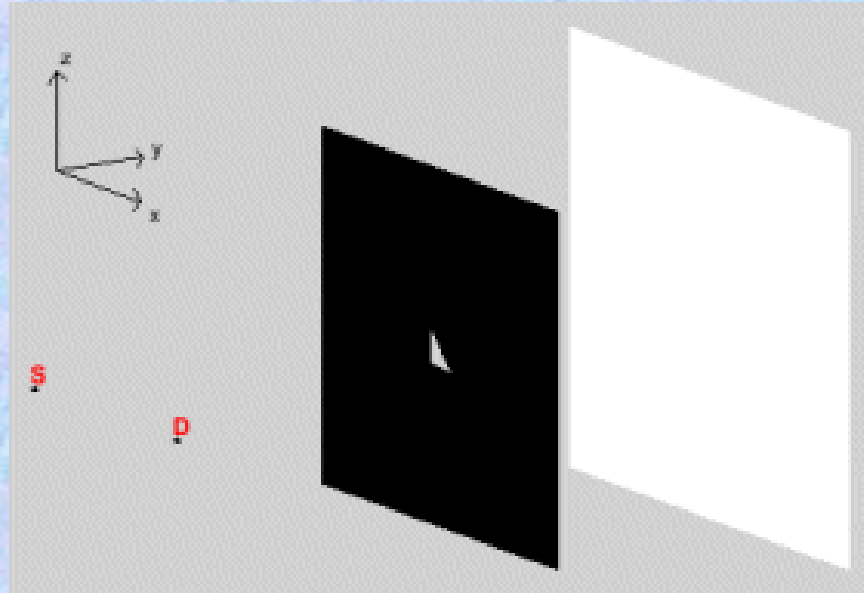
1) Se si accende la sorgente quale forma ha la zona illuminata sullo schermo? Che tipo di modello possiamo utilizzare per descrivere la propagazione della luce?

Prime esperienze di ottica geometrica



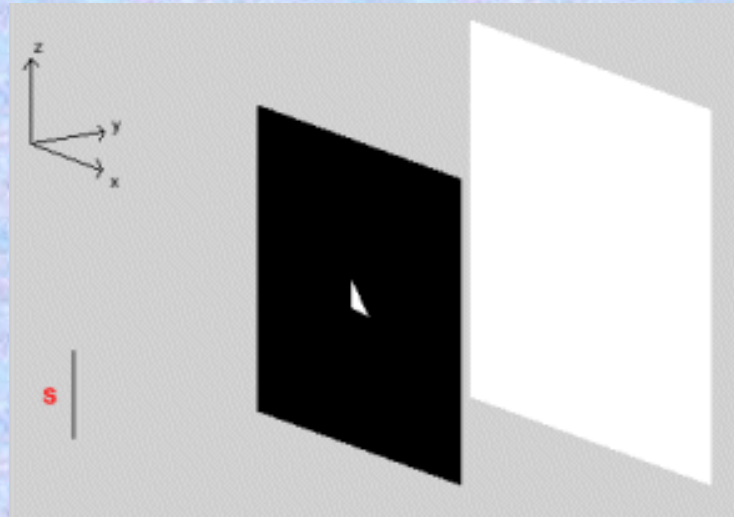
- 2) Se si allontana lo schermo cosa succede?
Variano sia le dimensioni della zona illuminata, sia la sua "brillantezza": la stessa quantità totale di "luce" si distribuisce su una superficie più grande (con quale dipendenza dalla distanza?)

Prime esperienze di ottica geometrica



- 3a) Cosa appare se si accendono due sorgenti?
*Metodo del tracciamento dei raggi (ray-tracing),
"moltiplicazione" delle immagini*
- 3b) Cosa succede se le sorgenti sono molto vicine?
*Sovrapposizione delle immagini, somma dei flussi
luminosi*

Prime esperienze di ottica geometrica



- 4) Come possiamo costruire geometricamente l'immagine, nel caso più generale di una sorgente schematizzabile come un segmento?
(Soluzione con il metodo di *ray-tracing*, ma serve un modello per descrivere la sorgente)

Verso un'altro modello di radiazione

- Esperienze di riflessione e interferenza:

Uno specchio riflette la luce, mentre la superficie di un CD-ROM genera effetti cromatici.

Che differenza c'è?

E' sufficiente il modello precedente per spiegare questi effetti o serve un altro modello?

Possiamo pensare a qualche altra esperienza che ci aiuti a capire?

Modelli in ottica e struttura della materia

- Un'interessante esperienza di interazione radiazione-materia:

Se la sorgente di luce (lampadina) viene spenta, la radiazione precedentemente esistente nell'ambiente "scompare" (effetto notte).

Che è successo?

Cosa suggerisce questa esperienza sulla natura della radiazione?

Come facciamo a verificarlo?

Un modello euristico per la radiazione

- La **radiazione** (luce) è il mezzo più veloce scelto dalla natura per trasportare **energia** attraverso lo spazio
- Che vi sia energia associata alla radiazione lo dimostra il fatto che **la luce del Sole riscalda** (*termodinamica*)
- **La radiazione si propaga alla velocità della luce, c** previsto dalla *teoria dell'elettromagnetismo di Maxwell* e dimostrabile con esperimenti
- Che la velocità della luce sia **quella massima raggiungibile** discende dai postulati della *teoria della relatività ristretta* (Albert Einstein dixit)

Qualche domanda

- La radiazione (luce) trasporta dunque energia, ma **come (in che forma)**?
- **In che direzione** si propaga la luce emessa da una sorgente luminosa?
- **Quanta** energia viene emessa da una sorgente luminosa? Quanta ne arriva ai nostri occhi, oppure su una pellicola fotografica?
- **In che forma** viene trasportata l'informazione associata a un segnale luminoso?

Suggerimenti: **intensità** della luce? **variazione** nel tempo e nello spazio? **colore**?

Qual è la migliore descrizione per la radiazione?

- L'energia può essere trasportata tramite **onde** (in un liquido, lungo una corda oscillante) oppure a pacchetti, tramite **particelle** (come fa un qualsiasi proiettile)
- Per descrivere il funzionamento di sistemi ottici fatti con lenti e specchi e i fenomeni di propagazione della luce in diversi materiali è sufficiente una descrizione molto semplice, il *modello a raggi* (**Ottica geometrica**)
- Per spiegare altri fenomeni (ad es. quello dell'interferenza) è utile un modello a onde (**Ottica ondulatoria**)
- Per spiegare i fenomeni di emissione e assorbimento della radiazione occorre un modello a fotoni (**Ottica quantistica**)

Primi concetti

- La scienza si basa su esperimenti, osservazioni, misure di quantità fisiche e modelli
- Una stessa entità fisica, come la radiazione, può essere descritta con diversi modelli
- I diversi modelli possono essere utilizzati (o sono necessari) per spiegare fenomeni diversi
- E' importante distinguere tra modelli descrittivi, come il *modello a raggi*, e modelli fisici, come le *onde* o i *fotoni*

Trasporto di energia e di informazione

- La **radiazione** (luce) può essere usata per inviare segnali e quindi informazione
- Per trasferire un segnale occorre una **sorgente** di radiazione, quindi di energia, e un sistema di raccolta (un'**osservatore**, uno **strumento di ricezione**)
- Il **trasferimento di un segnale (informazione) implica quindi trasferimento di energia** (tramite radiazione nel nostro caso) e sua conversione in altra forma: per esempio, la luce provoca una reazione chimica in una pellicola fotografica oppure la generazione di un segnale elettrico nel rivelatore di una fotocamera digitale
- Vale il **principio di conservazione dell'energia** (*meccanica, termodinamica*): l'energia emessa dalla sorgente può essere diffusa nello spazio, può cambiare forma (ad es. quando la radiazione raggiunge l'osservatore), ma non può essere distrutta.

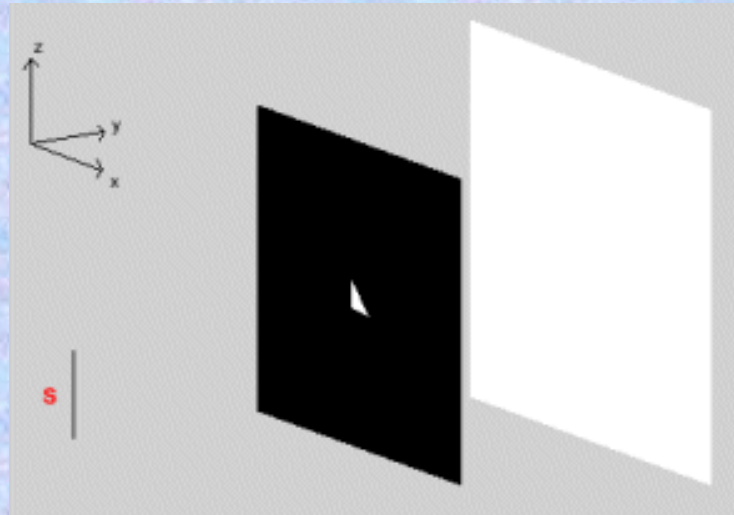
Necessità di uno strumento di ricezione

- La **radiazione** (luce, energia, segnale) che riceviamo con i nostri occhi è
 - **limitata dalla sensibilità dei nostri occhi**: ad es., non riusciamo a vedere bene oggetti molto lontani, non riusciamo a "visualizzare" radiazione infrarossa o raggi X
 - **non permanente** e quindi **difficilmente misurabile** in modo oggettivo
 - **confusa**, per la molteplicità di segnali che riceviamo simultaneamente (*spesso coperti dal "rumore di fondo"*) e la nostra **difficoltà di distinguere variazioni di intensità** tra punti molto vicini (*risoluzione spaziale*) o troppo rapide (*risoluzione temporale*), **e di colore** (*risoluzione spettrale*)

Funzioni di uno strumento di ricezione

- **Ricevere più luce** (ad es. per fotografare in condizioni di bassa luminosità)
- **Registrazione il segnale luminoso** in modo permanente (su carta fotografica o in forma digitale)
- **"Vedere" i dettagli** (ingrandimento dell'immagine della sorgente)
- **"Visualizzare" luce invisibile** con gli occhi (ad es., visori di radiazione infrarossa)
- **Misurare variazioni** del segnale nel tempo (filmati)

Uno strumento... con poca immaginazione



5) Se usassimo una candela come sorgente la vedremmo sullo schermo?

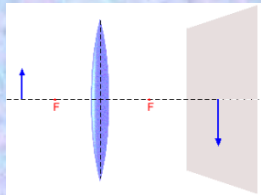
No, l'immagine è completamente sfocata

Esperienze con un foro stenopeico (*pinhole*)

- **Previsione:** Che tipo di immagine potrebbe essere proiettata su uno schermo se usassimo un piccolo foro al posto dell'apertura triangolare? (*applicazione del metodo di tracciamento dei raggi, previsione del flusso in base al rapporto tra area del foro e area dell'apertura*)
- **Verifica:** realizzazione di un "foroscopio" (*pinhole-scope*)
- Perché un foroscopio produce un'immagine? Perché l'immagine è capovolta?
Interpretazione: *corrispondenza biunivoca tra punti oggetto e punti immagine*
- **Altre domande/esercizi per il laboratorio:**
Cosa succede se allontaniamo lo schermo dal foro?
Cosa succede se variamo le dimensioni del foro?
Cosa succede se facciamo due fori?
- **Applicazione:** macchina fotografica a foro stenopeico

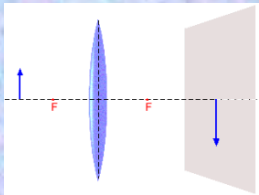
Primi risultati

- Per la costruzione geometrica di un'immagine possiamo usare il **modello a raggi**
- Per formare un'immagine abbiamo bisogno di un sistema ottico che crei una **corrispondenza biunivoca tra punti oggetto e punti immagine**
- Tale corrispondenza non è mai perfetta e ciò comporta un limite (*risoluzione angolare*) nella possibilità di distinguere dettagli
- Abbiamo bisogno di "raccogliere" più luce (energia) possibile, se vogliamo ottenere immagini "luminose" in breve tempo (*ovvero, aumentare la sensibilità dello strumento*)



Esperienze con una lente

- Prendiamo una *lente d'ingrandimento*
 - Se la usiamo in modo convenzionale la lente ci fornisce un'immagine ingrandita dell'oggetto, vista direttamente (il nostro occhio al posto dello schermo). E' possibile proiettare questa immagine su uno schermo?
(No, è una immagine virtuale. Serve l'occhio per vederla.)
 - Un altro modo di usarla è quello di concentrare la luce in un punto per "dare fuoco" a qualcosa
(La sorgente deve essere molto lontana; la distanza tra la lente e il "fuoco" si chiama lunghezza focale della lente)
 - Un'altra possibilità è quella di proiettare l'immagine di un oggetto posto a distanza maggiore della lunghezza focale
(L'immagine diventa reale, nitida, capovolta!)



Esperienze con una lente

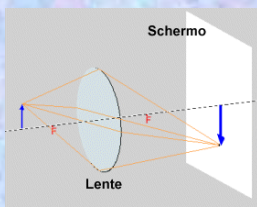
- **Esperimenti, interpretazioni, domande**

- Come fa una lente a formare un'immagine reale capovolta? Proviamo a usare un puntatore laser come strumento per il tracciamento dei raggi:

la luce viene deflessa quando attraversa il vetro della lente (fenomeno di rifrazione della luce)

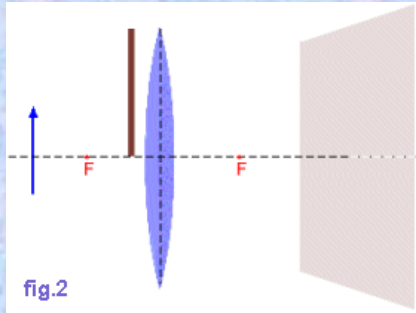
- Cosa succede se allontaniamo lo schermo? Cosa succede se allontaniamo la sorgente di luce? *C'è una relazione tra distanza della sorgente (oggetto) dalla lente, distanza dell'immagine (schermo) dalla lente e lunghezza focale*

Esperienza con misure in laboratorio



- Primo passo: determinare la lunghezza focale f della lente
- Secondo passo: posto un oggetto a distanza d_o (variabile) dalla lente, determinare a che distanza d_i bisogna mettere lo schermo dall'altra parte della lente per vedere un'immagine nitida dell'oggetto
- Terzo passo: Derivazione sperimentale della *legge delle lenti sottili per una lente convessa* (*Esercizio per casa*: trovate qual è la relazione tra le quantità $d_o - f$ e $d_i - f$, al variare di d_i , dove d_o e d_i sono le distanze dell'oggetto e dell'immagine dalla lente)

Esercizi di ottica con una lente



- Cosa succede all'immagine se si copre mezza lente?
- Si può formare un'immagine se si toglie la lente?
- Cosa succede se si sposta lo schermo avanti o indietro?
- Si può vedere l'immagine se si toglie lo schermo? Se sì, da che posizione?
- **Fate le vostre previsioni e poi verificate tramite nuove esperienze**

