

corso di
Fisica della Visione
 (Fulvio Peruggi)

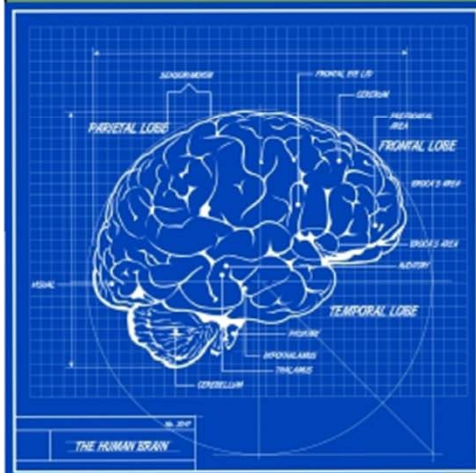
$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

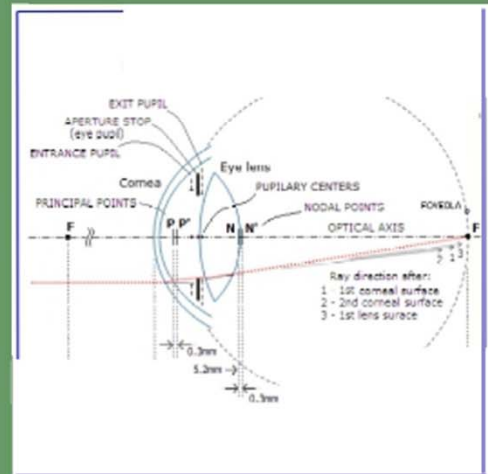


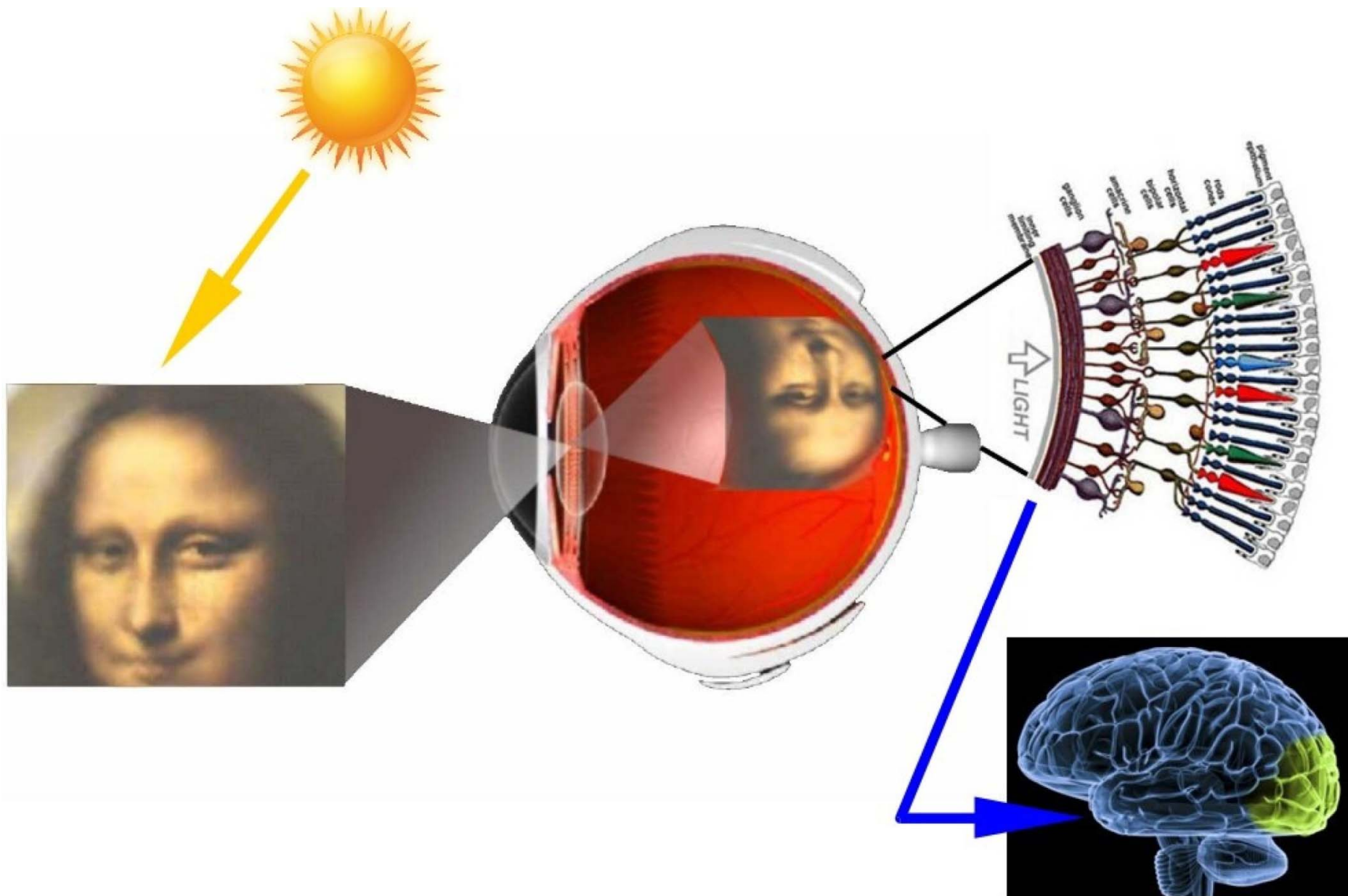
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$



$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} (ru) + \frac{1}{r \sin \vartheta} \frac{\partial}{\partial \vartheta} \left(\sin \vartheta \frac{\partial u}{\partial \vartheta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \vartheta} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} - \frac{1}{v_f^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$$







Fisica della Visione

2



Introduzione

Lezione 19

La percezione visiva:
contrasto, frequenza spaziale, acuità visiva

- Occhio.
- Contrasto.
- Acuità visiva.
- Ottotipi.

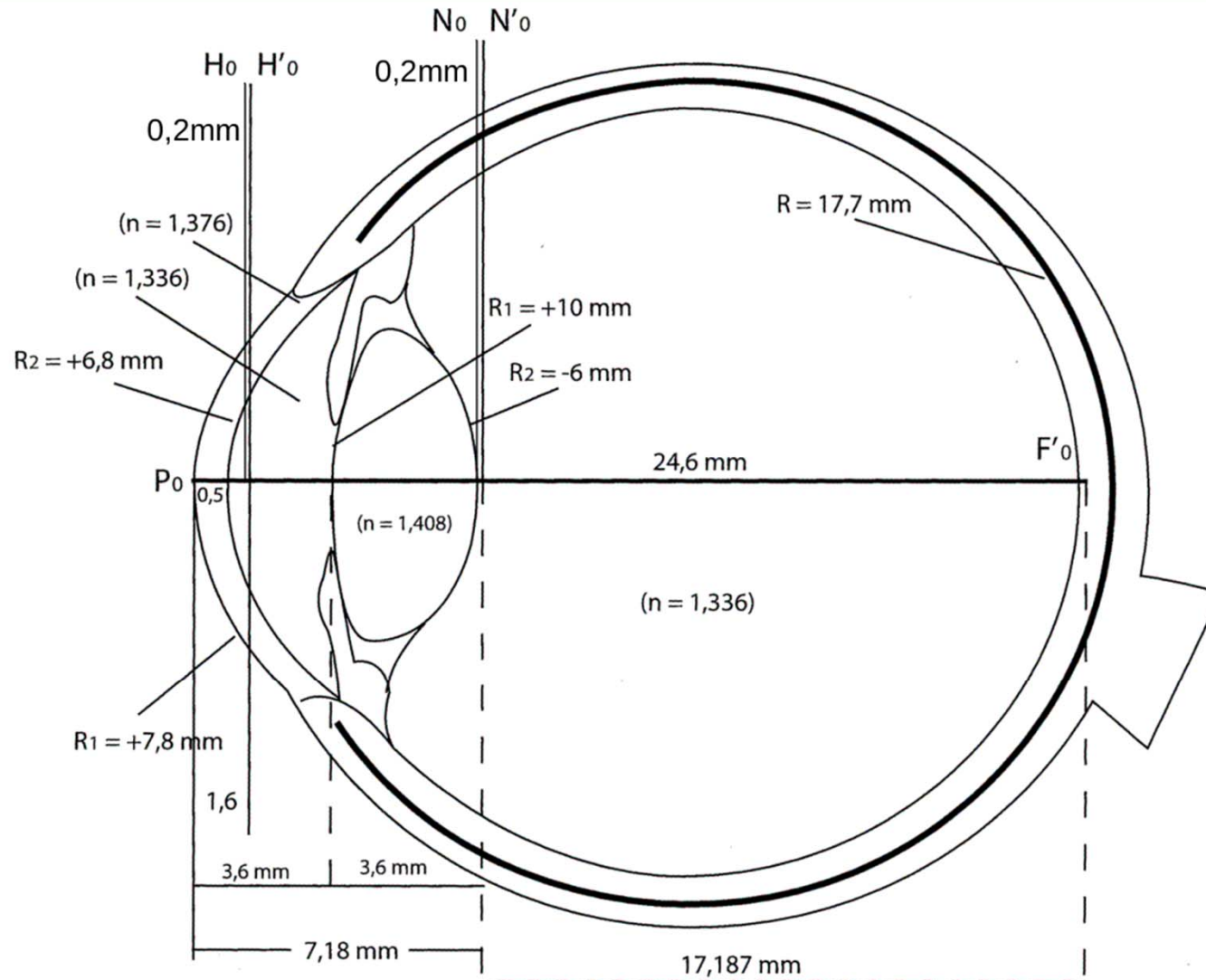


Fisica della Visione

3



Occhio medio





Fisica della Visione

4



Contrasto

Il **contrasto** in un'immagine è il rapporto o differenza tra il valore più alto (punto più luminoso) e il valore più basso (punto più scuro) della luminosità nell'immagine.

Questa è però una definizione relativa a schermi televisivi e monitor. Qual è il contrasto che l'occhio riesce a percepire per la sua natura intrinseca?





Fisica della Visione

5



Contrasto

- Definizione CIE

- Differenza di luminanza tra valore massimo e valore minimo.
- Misurata rispetto alla luminanza media.

$$\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\text{med}}}$$

- Definizione di Weber

- Differenza di luminanza tra oggetto e sfondo.
- Misurata rispetto alla luminanza dello sfondo.

$$\frac{L_{\text{oggetto}} - L_{\text{sfondo}}}{L_{\text{sfondo}}}$$

Nota:

Radianza: L_e [W/(m² sr)]

Luminanza: L_v [lm/(m² sr)]



Fisica della Visione

6



Contrasto

- La medesima differenza di luminanza è percepita diversamente in dipendenza della luminanza media (o dello sfondo).

$$\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\text{med}}}$$

$$\frac{L_{\text{oggetto}} - L_{\text{sfondo}}}{L_{\text{sfondo}}}$$

- La medesima variazione di luminanza è
 - più “visibile” se lo sfondo è “scuro”;
 - meno “visibile” se lo sfondo è “chiaro”.



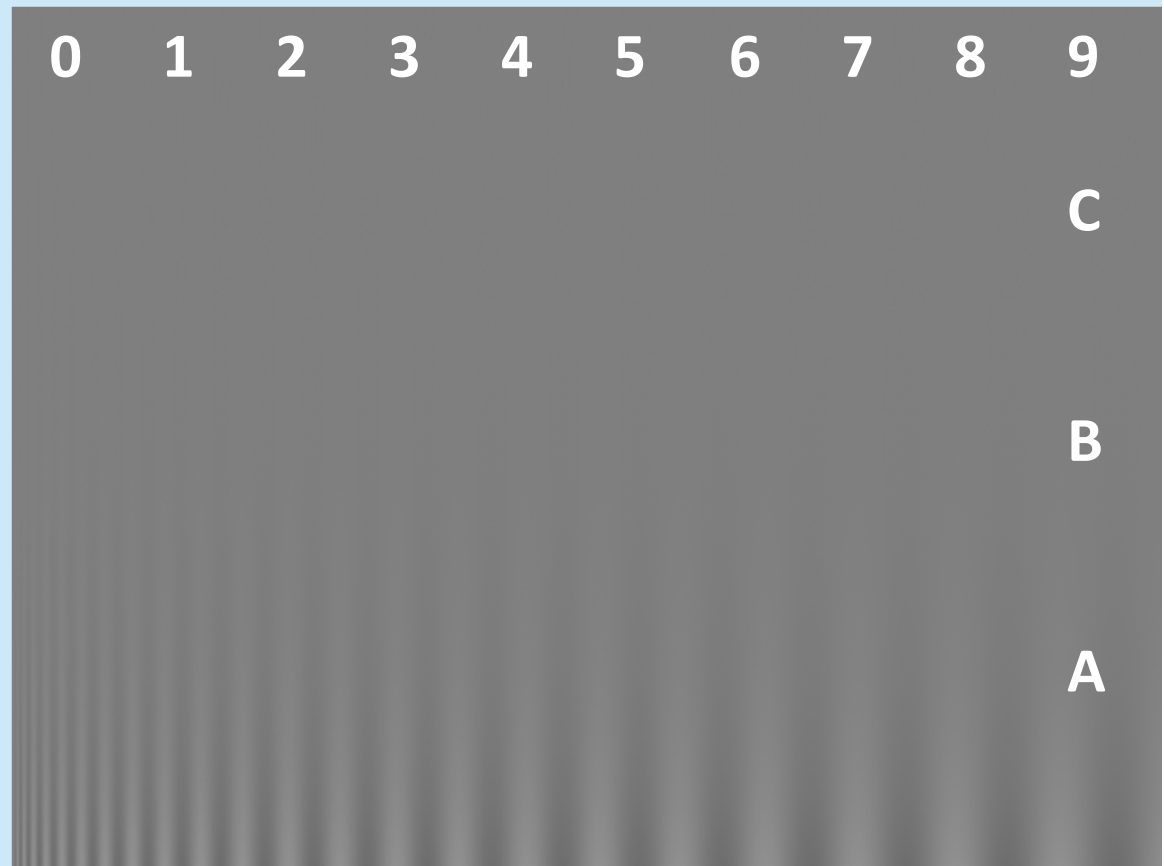
Fisica della Visione

7



Contrasto

- La sensazione di contrasto è influenzata dalla periodicità spaziale.
 - L'immagine a fianco (riportata a schermo pieno nella prossima slide) contiene delle "righe" verticali alternativamente chiare e scure che partono dal basso.
 - Valutare in quale posizione (0 ... 9) le righe appaiono più lunghe.





Fisica della Visione

8



Contrasto

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

C

B

A



Fisica della Visione

9



Contrasto

- Nell'immagine le "righe" dovrebbero "svanire" tutte alla medesima altezza poiché il contrasto non cambia lungo l'asse orizzontale (ciò che cambia lungo l'asse orizzontale è solo la frequenza spaziale).
- La sensazione di contrasto è influenzata dalla periodicità spaziale per cui le "righe" appaiono più o meno lunghe poiché "svaniscono" ad un valore del contrasto differente a seconda della frequenza spaziale.





Fisica della Visione

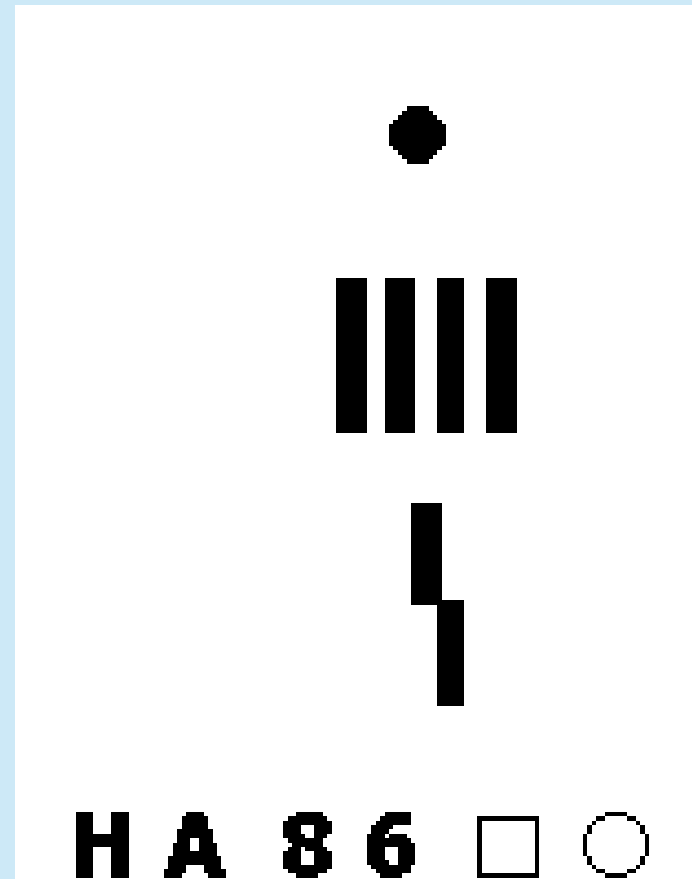
10



Acuità visiva

Acuità (o acutezza) visiva

- Acutezza di visibilità
- Acutezza di risoluzione
- Acutezza di allineamento o localizzazione
- Acutezza di riconoscimento





Fisica della Visione

11



Acuità visiva

Acuità (o acutezza) visiva

L'**acutezza visiva** o **acuità visiva** o **visus** è una delle abilità visive principali del sistema visivo. È definita come la capacità dell'occhio di risolvere e percepire dettagli fini di un oggetto. Dipende direttamente dalla nitidezza dell'immagine proiettata sulla retina.

L'acutezza visiva rappresenta l'inverso delle dimensioni angolari minime che un oggetto deve avere per essere percepito correttamente. È una delle abilità visive maggiormente tenute in considerazione durante un esame visivo; una diminuzione dell'acutezza visiva è un sintomo che richiede un rapido intervento medico.



Fisica della Visione

12



Acuità visiva

Acutezza di visibilità

- È il minimo angolo che deve essere sotteso da una immagine affinché provochi uno stimolo (e risulti visibile).
- Test: consiste nel variare la grandezza di punti di differente diametro, oppure di linee di diverso spessore. L'angolo sotteso dalla linea o dal puntino sarà il minimo visibile.
- L'angolo deve essere misurato dal punto nodale posteriore verso il punto immagine (sulla retina).
- L'angolo è il medesimo se misurato dal punto nodale anteriore verso il punto sorgente (l'oggetto reale che si sta osservando).



Fisica della Visione

13



Acuità visiva

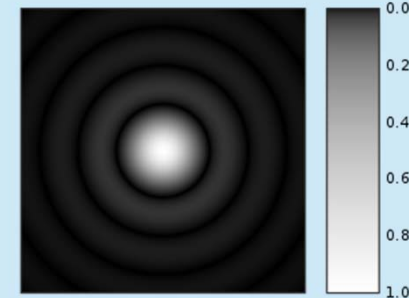
Acutezza di visibilità

- Fisiologicamente, questo tipo di acutezza visiva è determinato dalla stimolazione di un singolo fotorecettore visivo, illuminato diversamente dallo sfondo affinché vi sia una percezione.
- La condizione “fisiologica”, quindi, è che l’immagine deve essere dell’ordine di grandezza del diametro di un cono ($\sim 2\mu\text{m}$).

Acutezza di visibilità

- Condizione “fisica”: limite di diffrazione, dato dalla dimensione angolare del massimo centrale di diffrazione da una apertura circolare (“disco di Airy”).

$$\sin \vartheta_{\text{primo minimo}} = 1.22 \frac{\lambda}{d_{\text{apertura}}}$$



- A causa della sua natura ondulatoria, la luce che attraversa un'apertura sottile viene diffratta e interferisce formando una struttura di regioni luminose e scure su di uno schermo posto ad una certa distanza dall'apertura. Il modello di diffrazione che risulta da un'apertura circolare uniformemente illuminata ha una regione luminosa nel centro, conosciuta come **Disco di Airy** che, assieme ad una serie di anelli concentrici, viene chiamata **modello di Airy** (da George Airy). Il diametro di questo disco è funzione della lunghezza d'onda della luce illuminante e del diametro dell'apertura circolare.



Fisica della Visione

15



Acuità visiva

Acutezza di risoluzione

- Minimo angolo che deve essere sotteso tra due immagini affinché vengano percepite come distinte.
- Test: due punti (o due linee) a differente distanza l'uno dall'altro.
- Il minimo angolo di risoluzione o risolvibile esprime la più piccola distanza tra due linee affinché vengano percepite come due oggetti separati. Il minimo risolvibile presenta valori molto maggiori rispetto al minimo visibile. Teoricamente, per rilevare distinte due linee è necessaria l'attivazione di due fotorecettori e fra di loro la presenza di un fotorecettore non attivato che indichi la mancanza di continuità.



Fisica della Visione

16



Acuità visiva

Acutezza di risoluzione

- Nell'occhio normale l'acutezza di risoluzione è di circa 35-50 secondi d'arco.
- L'angolo deve essere misurato dal punto nodale posteriore verso il punto immagine (sulla retina).
- L'angolo è il medesimo se misurato dal punto nodale anteriore verso il punto sorgente (l'oggetto reale che si sta osservando).
- Condizione “fisiologica”:
le due immagini devono cadere su due coni **non** adiacenti.
- Condizione “fisica”:
il massimo di diffrazione di un punto sorgente deve cadere almeno in corrispondenza del minimo dell'altro.



Fisica della Visione

17

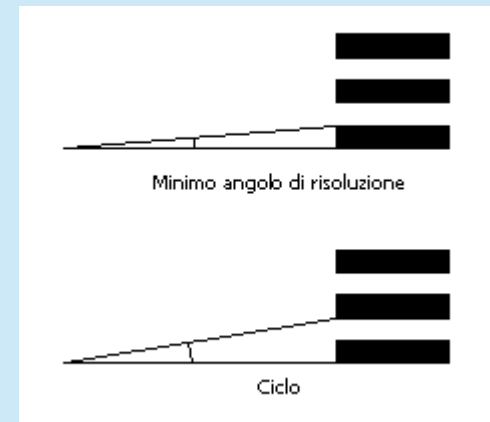


Acuità visiva

Acutezza di risoluzione

Il Minimo Angolo di Risoluzione (MAR) è orientativamente di $1'$, ma può essere differente

- per punti o per linee,
- se c'è periodicità spaziale,
- se le linee sono orizzontali o verticali.





Fisica della Visione

18



Acuità visiva

Acutezza di allineamento

- È il minimo spostamento spaziale percepibile tra due figure, di solito lo si considera pari allo spostamento angolare di due barre nere affinché siano percepite come non allineate
- È anche denominata superacuità, poiché raggiunge valori molto elevati. L'acuità di Vernier o di nonio rappresenta la capacità di allineare due linee tra di loro. L'angolo esprime la distanza più piccola tra due barre nere, affinché il soggetto identifichi un mancato allineamento. Il valore medio di questo tipo di acutezza è molto elevato: circa 4-5 secondi d'arco.
- Altri tipi di acutezza visiva che si possono far rientrare in questa categoria sono la stereoacuità, ovvero la misura della stereopsi o percezione della profondità, e la rilevazione del tilt di una figura, ossia la capacità di apprezzare la verticalità di una linea. L'acutezza di questo gruppo che risulta più utile a livello clinico è quella di allineamento.



Fisica della Visione

19



Acuità visiva

Acutezza di riconoscimento

- Acuità “di riconoscimento” o “morfoscopica”:
- È la capacità di riconoscere una forma (lettere o disegni) vista sotto angoli differenti.
- È il tipo di acutezza visiva più comunemente conosciuta e utilizzata. Esprime la capacità di riconoscere una determinata forma tra tante possibili (discriminazione), come ad esempio una lettera dell'alfabeto. La tabella che rappresenta i diversi simboli con diverse grandezze viene definita tavola ottotipica, o tabella ottotipica, e ogni simbolo viene definito ottotipo.



Fisica della Visione

20



Ottotipi

Test effettuati mediante “ottotipi”

- Snellen, 1862 (E, 5', 1')
- Landolt, 1888 (C)
- Sloan, 1959 (10 lettere)
-

E	1	20/200
F P	2	20/100
T O Z	3	20/70
L P E D	4	20/50
P E C F D	5	20/40
E D F C Z P	6	20/30
F E L O P Z D	7	20/25
D E F P O T E C	8	20/20
L E F O D P C T	9	
F B P L Y C E O	10	
F E R O L C F T D	11	