

# La percezione dello spazio e della profondità

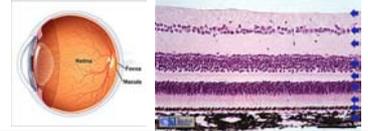
Chiara Della Libera

DSNV Università di Verona  
 Sezione di Fisiologia Umana  
 tel. 045 802 7198  
 chiara.dellalibera@medicina.univr.it

## Il mondo tridimensionale...



...su un sistema di recettori bidimensionale!



## Gli indizi di profondità

### 1. Indizi monoculari

Le informazioni provenienti da ognuno dei due occhi sono sufficienti per raggiungere una stima di distanza e di profondità.

### 2. Indizi binoculari

Le operazioni che determinano una percezione ottimale della terza dimensione richiedono però che le informazioni provenienti dai due occhi siano combinate/confrontate.

*Provereste a guidare con un occhio solo?*

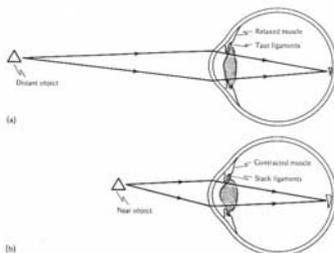
## Gli indizi monoculari

- Fisiologici
  - Accomodazione
- Pittorici
  - Interposizione
  - Proiezione retinica
  - Dimensione conosciuta
  - Ombreggiatura
- Pittorici-Prospettivi
  - Gradiente di tessitura
  - Prospettiva lineare
  - Prospettiva aerea
- Cinetici
  - Parallasse di movimento
  - Effetto cinetico di profondità

## L'accomodazione (i)

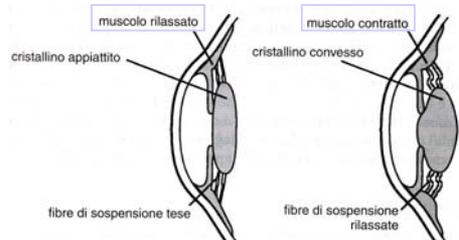
Il cristallino funziona come una lente, che curvandosi mette a fuoco sulla retina gli stimoli luminosi che lo attraversano.

La curvatura del cristallino cambia a seconda dell'inclinazione dei raggi luminosi in arrivo.



## L'accomodazione (ii)

Il grado di contrazione dell'anello di muscoli ciliari viene usato per valutare la distanza degli oggetti.

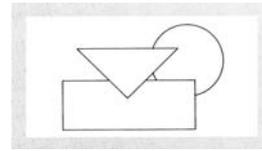


## I limiti dell'accomodazione

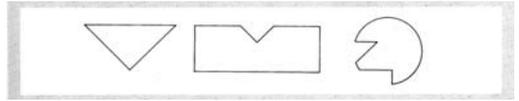
- L'accomodazione può essere utile come unico indizio di profondità per stimoli luminosi fino ad un massimo di 6 metri di distanza. Oltre questa distanza tutti gli stimoli luminosi proiettano raggi paralleli sul cristallino.
- Il limite inferiore di distanza è dato dalla capacità massima di curvatura del cristallino. Gli oggetti più vicini di 10 cm non possono essere messi a fuoco e rimangono sfocati.
- L'elasticità del cristallino e dei muscoli ciliari si riduce con l'età, causando la *presbiopia*.

7

## Interposizione

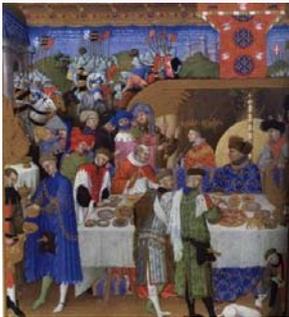


Gli oggetti che occludono parti di altri oggetti vengono percepiti come più vicini.



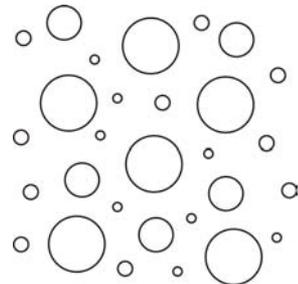
8

## Interposizione



9

## Dimensione e proiezione retinica



Gli oggetti più grandi tendono ad apparire più vicini. <sup>10</sup>

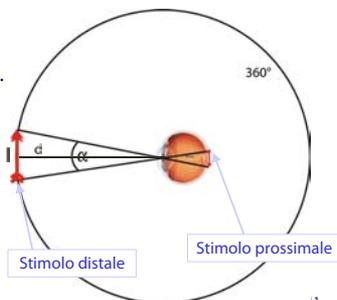
## L'angolo visivo

La proiezione retinica degli oggetti si misura in gradi di angolo visivo.

$l$  = dimensione dello stimolo distale  
 $d$  = distanza dello stimolo distale

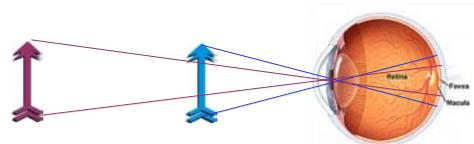
$$360 : 2\pi d = \alpha : l$$

$$\alpha = \frac{360 \cdot l}{2\pi d}$$



11

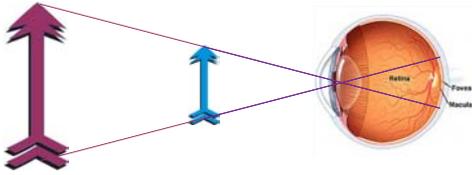
## La proiezione retinica (i)



Maggiore è la distanza di un oggetto e minore sarà la sua proiezione retinica.

12

## La proiezione retinica (ii)



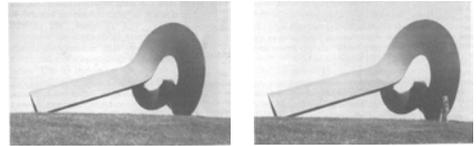
Oggetti di dimensioni molto diverse possono occupare lo stesso angolo visivo, mettendo in discussione questa semplice regola.

13

## Riferimenti di grandezza nota

A prescindere dall'angolo visivo che ricoprono, è molto difficile stimare la distanza di oggetti nuovi, che non abbiamo mai visto prima.

Questa operazione diventa immediatamente più facile se abbiamo a disposizione degli oggetti familiari che possono essere usati come riferimento.



14

## Ombreggiatura (i)



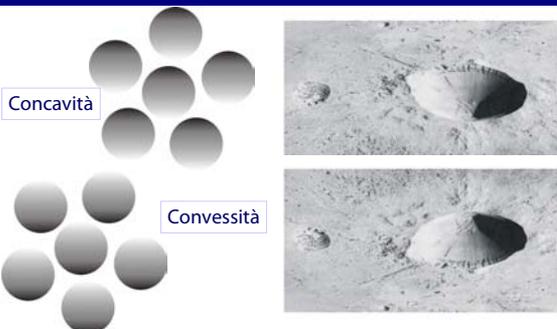
15

## Ombreggiatura (ii)



16

## L'origine delle ombre



## L'origine delle ombre



18

## Ombreggiatura ed esperienza passata

Face\_crate.mov\*

La luce proviene dall'alto.

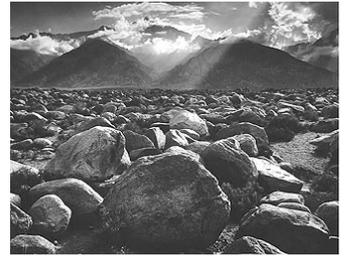
Cambiando la direzione di provenienza della luce si ottengono effetti molto interessanti che alterano il modo in cui gli oggetti vengono percepiti, ad esempio se concavi o convessi.

Questi effetti sono meno marcati o assenti se gli oggetti illuminati sono altamente significativi e ben conosciuti. In questi casi la natura dell'oggetto impone che esso sia percepito "normalmente".

\*www.richardgregory.org

19

## Gradiente di tessitura



Se una tessitura regolare non ha una densità uniforme la parte più densa di elementi appare più lontano.

20

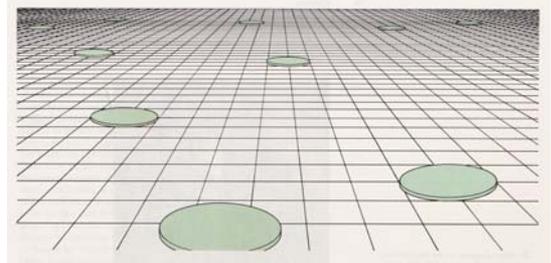
## La prospettiva lineare (i)



Le linee parallele appaiono convergere all'orizzonte.

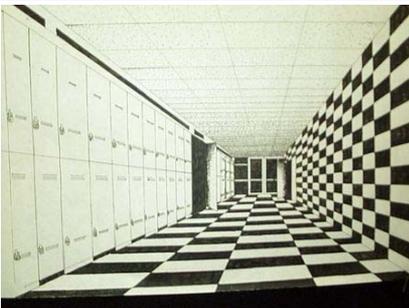
21

## La prospettiva lineare (ii)



22

## La prospettiva lineare (iii)



23

## La prospettiva aerea

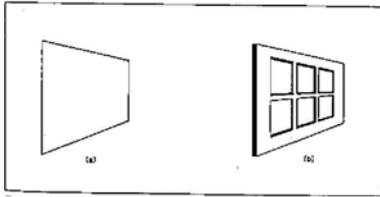


Gli oggetti che hanno un contrasto minore con lo sfondo sono percepiti come più distanti.

24

## La finestra di Ames

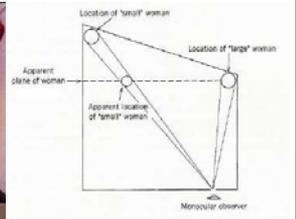
Ames\_window.mov\*



\*www.richardgregory.org

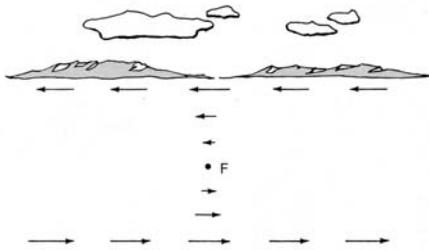
25

## Prospettiva lineare ed esperienza passata



26

## Parallasse di movimento (i)



27

## Parallasse di movimento (ii)

- La distanza degli oggetti viene stimata in base alla velocità con cui le rispettive proiezioni si spostano sulla retina.
- Gli oggetti che all'interno della scena si spostano più velocemente sono considerati più vicini.
- Per sfruttare la parallasse di movimento come indizio di profondità è necessario essere in movimento.

28

## Effetto cinetico di profondità



Degli oggetti che se immobili appaiono bidimensionali, possono apparire tridimensionali quando sono in movimento.

29

## La percezione della profondità è innata



30

## La percezione della profondità è innata



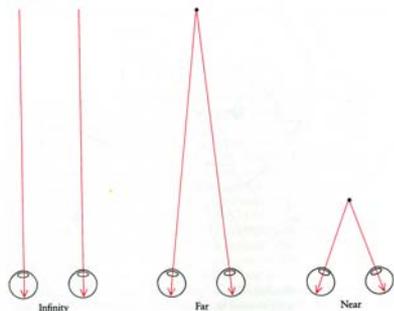
31

## Gli indizi binoculari

- Fisiologici
  - Convergenza
  - Disparità retinica
- La visione della profondità mediata dalla disparità retinica è detta *stereopsi*.

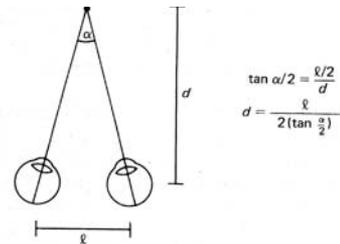
32

## La convergenza oculare (i)



33

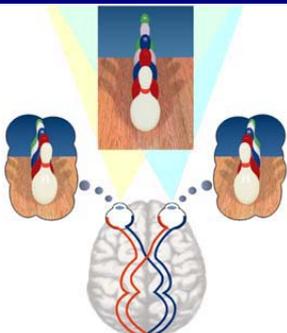
## La convergenza oculare (ii)



Conoscendo la distanza fra i due occhi e l'angolo  $\alpha$  fra gli assi oculari è possibile stimare la distanza fra il punto di fissazione e l'osservatore.

34

## Due retine, una sola immagine



I due occhi hanno punti di vista differenti. In ogni momento ci sono quindi due diverse immagini retiniche disponibili. Dal confronto fra queste due immagini è possibile ottenere una percezione molto accurata della profondità.

35

## La corrispondenza retinica (i)

- Anche se abbiamo due occhi, la nostra percezione della scena visiva è unitaria.
- Ciò avviene grazie alla corrispondenza retinica.
- Punti retinici che elaborano informazioni relative allo stesso punto nello spazio proiettano a punti corrispondenti nella corteccia visiva.

36

## La corrispondenza retinica (ii)

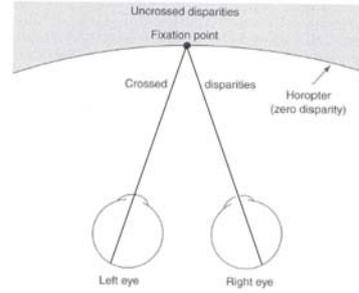


Nelle strisce di dominanza oculare le cellule elaborano informazioni provenienti da un solo occhio. Esistono però anche cellule binoculari, che ricevono informazioni dai due occhi relative agli stimoli presenti nello stesso punto dello spazio.



37

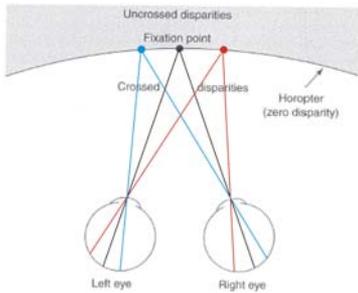
## La corrispondenza retinica (iii)



I punti dello spazio che si trovano alla stessa distanza del punto di fissazione formano un piano immaginario detto *oroptero*.

38

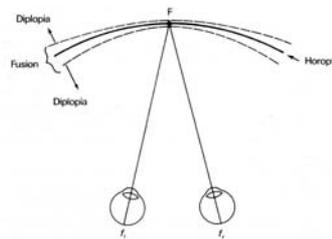
## La corrispondenza retinica (iv)



Gli oggetti sul piano oroptero proietteranno nei punti corrispondenti delle due retine.

39

## La fusione binoculare

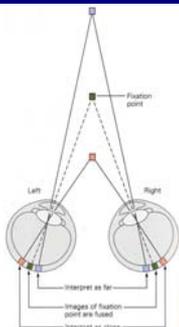


L'area intorno all'oroptero è detta *Area di Panum*. Gli oggetti che si trovano in questa area proiettano immagini retiniche non perfettamente corrispondenti.

Queste immagini possono comunque essere fuse in una sola, e non danno origine alla diplopia (visione doppia).

40

## La violazione della corrispondenza

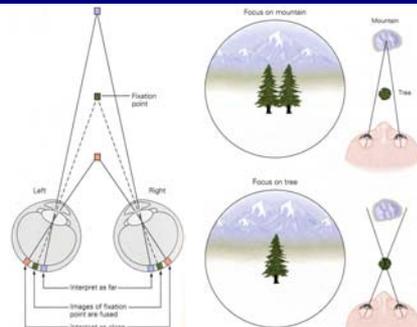


Fissando un punto nel campo visivo, vedremo sfocati tutti gli altri oggetti. Ciò è dovuto alla disparità retinica, cioè al fatto che le immagini dei singoli oggetti *non sono* proiettate su punti retinici *corrispondenti*.

I punti più vicini del piano oroptero determineranno delle disparità crociate. I punti più lontani del piano oroptero determineranno delle disparità non crociate.

41

## Diplopia: vedere doppio

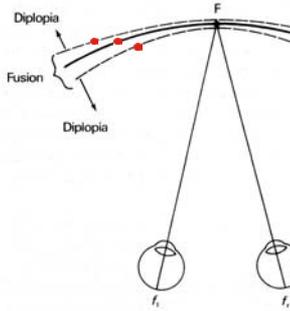


Disparità crociata

Disparità non crociata

42

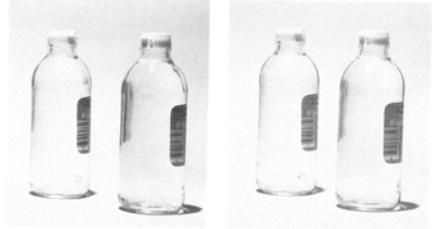
## La visione stereoscopica



Le minime differenze fra le immagini retiniche degli oggetti collocati in piani diversi nell'area di Panum vengono utilizzate per cogliere la profondità stereoscopica.

43

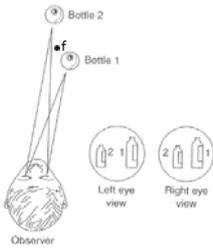
## Due punti di osservazione



In molti casi gli oggetti nel campo visivo non proiettano a punti corrispondenti, e si avrà una disparità fra le immagini elaborate da ciascuna retina.

44

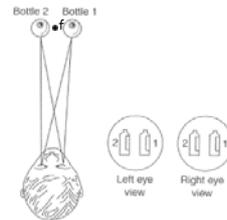
## La disparità retinica (i)



La disparità è maggiore con l'aumentare della distanza fra gli oggetti visibili nella scena.

45

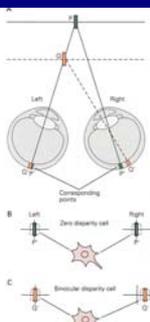
## La disparità retinica (ii)



Se gli oggetti sono esattamente alla stessa distanza dall'osservatore, entrambi vicini al punto di fissazione, la disparità sarà nulla (si trovano in prossimità del piano oculo-retinico).

46

## Neurofisiologia della disparità retinica



Delle cellule binoculari in V1 e V2 codificano il grado di disparità fra le informazioni provenienti dai due occhi.

Alcune di queste rispondono selettivamente quando la disparità è causata da oggetti più vicini del punto di fissazione, altre quando è causata da oggetti più lontani.

Altre cellule rispondono invece quando gli oggetti nel campo visivo sono complanari al punto di fissazione, ma spostati sul piano orizzontale.

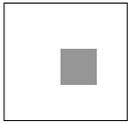
47

## Un sistema perfetto

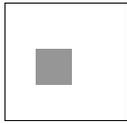
- La visione stereoscopica ci conferisce una straordinaria capacità di valutare le distanze relative fra oggetti.
- Grazie a questi meccanismi siamo in grado di rilevare una differenza di meno di 0,05 mm fra le distanze di oggetti collocati a 50 cm da noi.

48

## Studiare la visione stereoscopica



Occhio sinistro

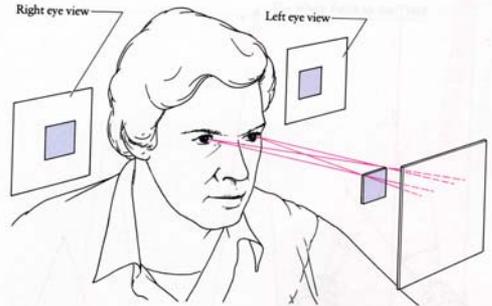


Occhio destro

Se ai due occhi vengono proiettate immagini leggermente disparate queste verranno fuse fra loro e si avrà la sensazione di tridimensionalità.

49

## La visione stereoscopica



## Gli stereogrammi



Sono delle immagini che differiscono fra loro quanto potrebbero differire se fossero osservate dai nostri due occhi separatamente.

51

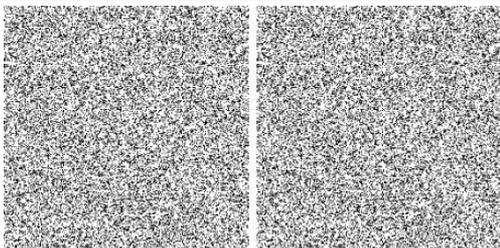
## Vedere gli stereogrammi



Il modo più efficace per vedere la tridimensionalità generata dagli stereogrammi è usare uno stereoscopio, che mostrando le due immagini separatamente ad ogni occhio ci porta a fondere le due immagini in una sola, tridimensionale.

52

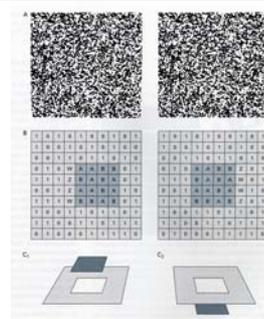
## I random-dot stereograms



La visione della tridimensionalità può essere ottenuta anche usando stereogrammi molto semplificati.

53

## Creare uno stereogramma



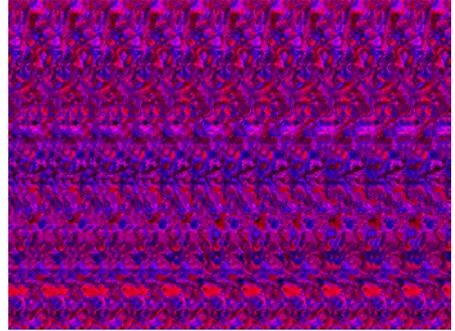
54

## Forma e tridimensionalità

- L'uso degli stereogrammi ha permesso di dimostrare che la percezione della tridimensionalità precede e non segue la segregazione di forme.
- Eseguire un'estrazione puntuale dei contorni presenti in ogni stereogramma sarebbe un'operazione "costosa".
- L'estrazione della forma nascosta nello stereogramma può avvenire solo se la disparità può essere elaborata globalmente, su tutta l'immagine.

55

## La stereopsi alla base del *Magic Eye*



56