

Capitolo secondo

Sensazione

Caratteristiche generali dei sistemi sensoriali

In prima approssimazione, i *sistemi sensoriali* possono essere considerati strumenti di misura delle grandezze fisiche:

- *visione*: grandezze fotometriche (intensità, composizione spettrale) e geometrico-cinematiche (lunghezza, velocità)
- *udito*: variazioni di ampiezza e frequenza degli stimoli acustici
- *tatto attivo* (pelle, postura e muscoli): peso sollevato
- *tatto passivo*: pressione esercitata sulla pelle
- *gusto e olfatto*: concentrazione di determinate sostanze

Questi sistemi hanno proprietà comuni che trascendono le specifiche modalità sensoriali

Due importanti proprietà comuni: soglia differenziale (JND, *just noticeable difference*, differenza appena rilevabile) e soglia assoluta

Soglia differenziale = minima quantità di cambiamento nell'intensità di uno stimolo necessaria a che lo stimolo sia percepito come diverso da uno stimolo di riferimento

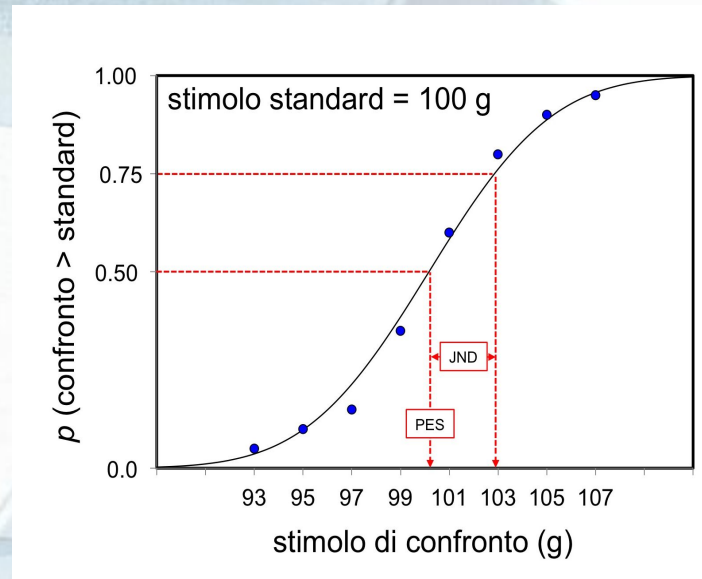
Il caso in cui l'intensità di riferimento è pari a zero permette di definire la **soglia assoluta** = minima intensità discriminabile dalla condizione in cui lo stimolo è assente

Misurazione della soglia differenziale

L'osservatore confronta in una serie di prove uno stimolo *standard* con degli stimoli di *confronto* di intensità progressivamente maggiore (*metodo degli stimoli costanti*)

La soglia differenziale è l'incremento dello stimolo di confronto necessario a elevare la percentuale di risposte «confronto > standard» dal livello del caso a un valore convenzionalmente indicativo di una discriminazione attendibile

Distribuzione delle proporzioni di risposte «confronto > standard» al variare dello stimolo di confronto



JND = incremento di intensità dello stimolo di confronto necessario a elevare $p(\text{confronto} > \text{standard})$ da 0,50 a 0,75

PES = punto di equiprobabilità delle risposte «confronto > standard» e «standard > confronto»

La legge di Weber

E.H. Weber (1795-1878) osservò che distinguiamo un peso di 100 g da uno di 103 g, ma non distinguiamo un peso di 500 g da uno di 503 g. Ciò significa che la minima differenza di intensità che può essere rilevata (ΔI) *non è un valore costante*

ΔI cresce invece in modo *direttamente proporzionale* alla intensità di riferimento, cioè a rimanere costante è il rapporto $\Delta I/I$ (*legge di Weber*):

$$\Delta I/I = k$$

dove ΔI è l'incremento di intensità, I è l'intensità di riferimento, k è una costante caratteristica della modalità

Per es. riusciamo a distinguere un peso di 100 g da uno di 103 g come pure un peso di 500 g da uno di 515 g

La legge di Weber è *generale*: vale in tutte le modalità sensoriali, anche se la costante k varia secondo la modalità

La legge di Weber è una *idealizzazione*: per es., la sensibilità umana alla luce copre una ampia gamma di intensità, ai cui estremi il valore della frazione di Weber è più elevato

La legge di Fechner

Alla luce dell'assunto del *parallelismo psicofisico* (corrispondenza biunivoca tra stimoli e sensazioni) G.T. Fechner (1801-1887) si chiese come cresce la sensazione al crescere dello stimolo

Es.: dati tre stimoli fisici di differente intensità (per es. 1, 2, 3), la sensazione prodotta dallo stimolo 2 starà esattamente a metà tra quella prodotta dallo stimolo 1 e quella prodotta dallo stimolo 3?

Secondo Fechner tutte le JND sono soggettivamente uguali. Perciò il numero di JND sopra la soglia assoluta può essere usato come misura della grandezza della sensazione evocata da uno stimolo

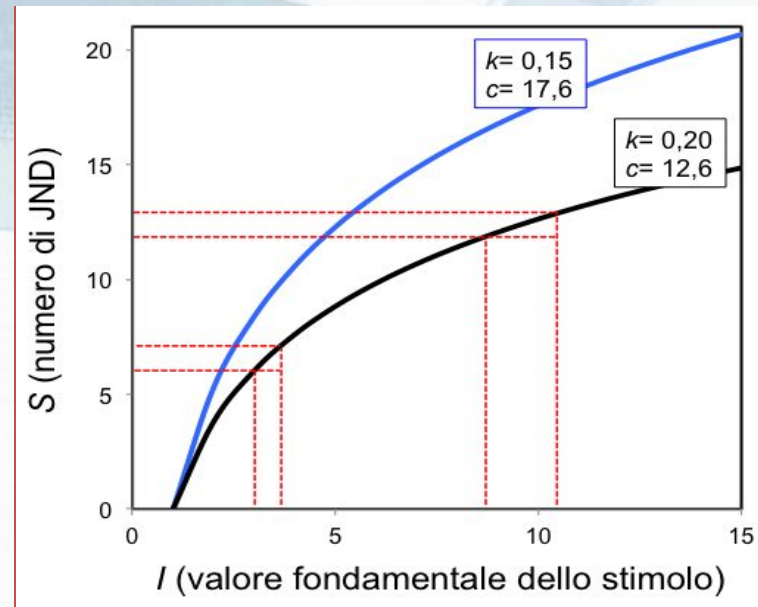
Fechner osservò che aumenti *costanti* della sensazione corrispondono ad aumenti *proporzionalmente crescenti* dell'intensità dello stimolo

In altri termini, aumentando linearmente l'intensità dello stimolo la sensazione aumenta prima rapidamente e poi più lentamente

Più precisamente, Fechner stabilì che la grandezza della sensazione è *proporzionale al logaritmo* della grandezza dello stimolo (*legge di Fechner*):

$$S = c \log(I)$$

dove I è l'intensità dello stimolo, S è l'intensità della sensazione, e c è una costante specifica per la modalità sensoriale



Relazione tra la grandezza della sensazione e l'intensità dello stimolo per due diversi valori di c (e di k , di cui c è una funzione inversa)

Per la curva con $c=12,6$ le linee tratteggiate mostrano che intervalli uguali sulla scala delle sensazioni S corrispondono a intervalli proporzionalmente crescenti sulla scala delle intensità fisiche I

La legge di Stevens

La psicofisica classica si basa su *metodi indiretti* (l'accrescimento della intensità soggettiva viene inferito dalle misura di soglia)

S.S. Stevens (1906-1973) propose l'uso di *metodi diretti*: mettere in relazione stimoli e sensazioni utilizzando i giudizi quantitativi espressi dagli osservatori

Es.: *magnitude estimation* (stima di grandezza): l'osservatore stima direttamente l'ampiezza della sensazione prodotta da stimoli di intensità diversa associando ad essa un numero

Stevens concluse che l'intensità della sensazione è proporzionale all'intensità fisica elevata a esponenti caratteristici della modalità sensoriale (*legge di Stevens*):

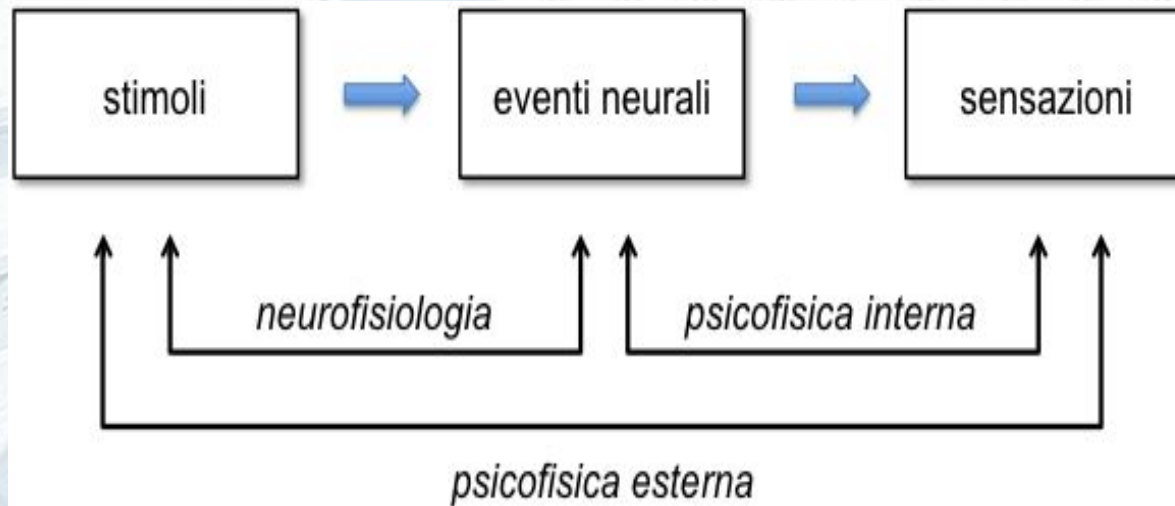
$$S = mI^n$$

dove S è la sensazione, m è una costante dipendente dall'unità di misura, I è l'intensità dello stimolo e n è un esponente caratteristico del tipo di stimolo considerato

Psicofisica esterna e interna

La *psicofisica esterna* riguarda la relazione tra sensazioni e stimoli collocati al di fuori dell'organismo

Oggetto della *psicofisica interna* è la relazione tra le sensazioni e gli eventi neurali suscitati dagli stimoli



I dati neurofisiologici mostrano un *correlato neurale* della legge di Fechner : la risposta dei neuroni (aumento di frequenza degli impulsi rispetto al livello base) è una funzione approssimativamente logaritmica dell'intensità fisica dello stimolo

Valore adattativo della sensibilità ai rapporti

La legge di Weber mostra che, nel caso della visione, siamo sensibili ai *rapporti* tra le grandezze retiniche piuttosto che alle *differenze assolute*

Si noti che i rapporti tra le grandezze retiniche riproducono fedelmente i rapporti tra le grandezze distali

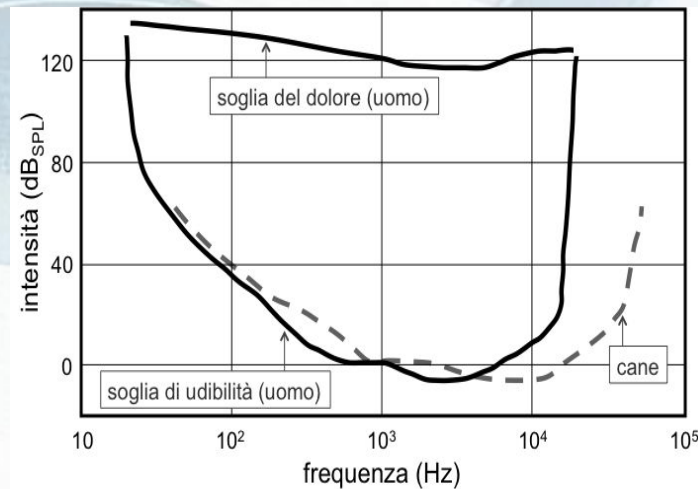
Percepire le proprietà dello stimolo distale nonostante la variabilità dello stimolo prossimale (dovuta, per es., ai movimenti esplorativi dell'osservatore) permette un'interazione più efficiente con l'ambiente

Sensibilità acustica alla frequenza temporale

Stimolo prossimale per l'*udito*: variazione periodica di pressione di un mezzo come l'aria, provocata da un evento meccanico

In prima approssimazione, lo stimolo sonoro può essere descritto da un'*onda sinusoidale*, che può variare per due aspetti:

- *ampiezza* (distanza verticale tra picco e valle dell'onda, percepita come intensità sonora sul continuum debole-forte)
- *frequenza* (numero di cicli nell'unità di tempo, percepita come altezza sonora sul continuum grave-acuto)



Le due curve a U descrivono la soglia di udibilità in funzione della frequenza del suono per l'uomo e per il cane (rispettivamente curva piena e tratteggiata). La curva in alto indica la soglia del dolore nell'uomo. La regione tra le due linee piene comprende gli stimoli acustici che l'uomo percepisce come suoni

La soglia è minima (e la sensibilità massima) per le frequenze intermedie e aumenta per le frequenze basse e alte. Il cane, diversamente dall'uomo, sente gli ultrasuoni

Sensibilità alla luce

Come avviene la codificazione sensoriale della composizione spettrale della luce?

Il sistema visivo deve analizzare le *componenti principali dello spettro e codificarne la prevalenza relativa*

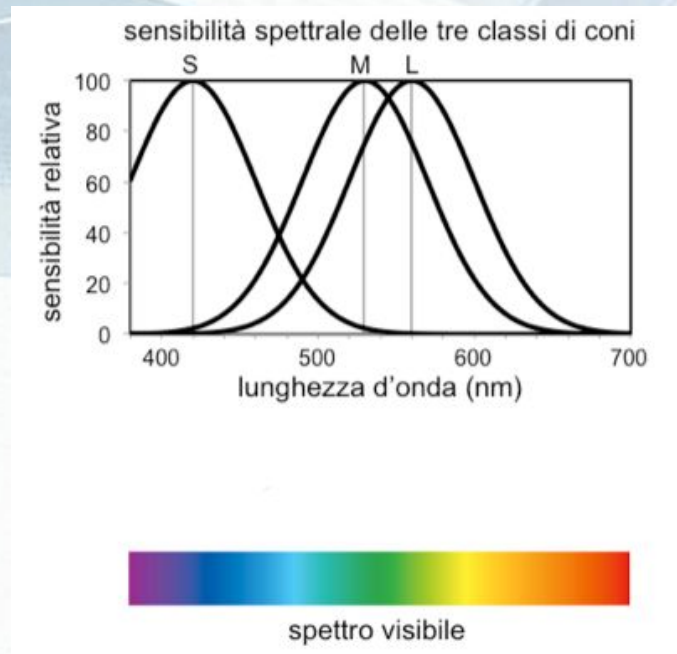
I fotorecettori retinici sono di due tipi: *bastoncelli* (specializzati per la visione notturna) e *coni* (specializzati per la visione diurna)

La sensibilità dei bastoncelli è descritta da un'*unica funzione spettrale*

Un osservatore che possedesse solamente una classe di recettori siffatta non vedrebbe i colori: al massimo potrebbe vedere una zona più chiara/scura di un'altra

I coni invece appartengono a tre classi differenti – S, M, L (*short, medium, long*) – con picchi di sensibilità in zone diverse dello spettro

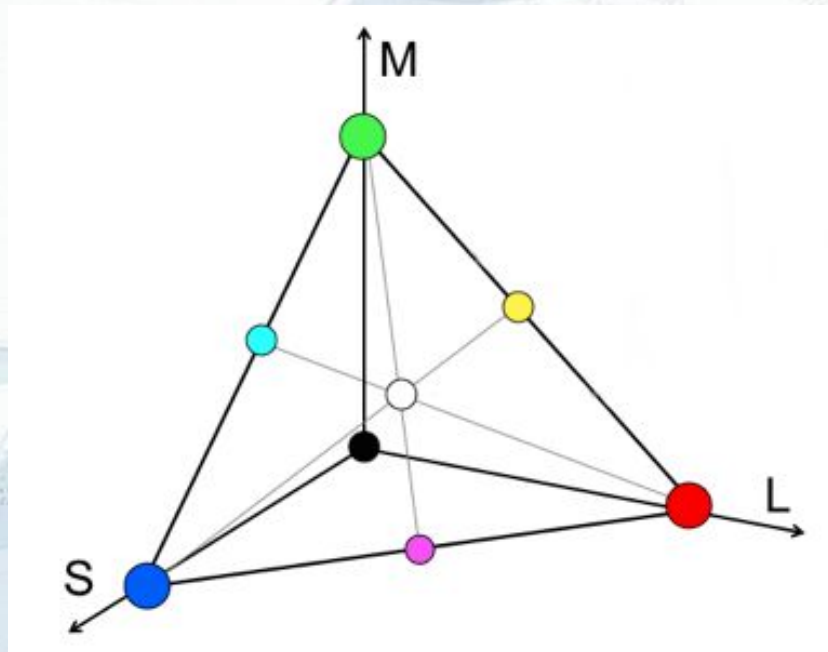
Le tre classi di coni codificano ogni miscela di luce mediante la *combinazione di tre valori, ciascuno corrispondente alla quantità di attivazione di una classe* (teoria tricromatica di Young-Helmholtz)



In alto: sensibilità spettrale delle tre classi di coni. La sensibilità di ciascuna classe ha picchi rispettivamente a 420 nm (coni S), 530 nm (coni M) e 560 nm (coni L)

In basso: la sequenza di colori visibili nella porzione visibile dello spettro, in corrispondenza di ciascuna lunghezza d'onda

Lo spazio di attivazione dei coni può essere rappresentato come un triedro definito dalle tre semirette SML, all'origine del quale sta il nero (= assenza di attivazione in ciascun sottosistema)



Sezionando il triedro con un piano si ottiene il *triangolo di Maxwell*: ciascun punto del triangolo corrisponde a un particolare rapporto fra le tre attivazioni

Il punto centrale corrisponde al perfetto bilanciamento delle tre attivazioni SML: il risultato è un colore acromatico (bianco se l'intensità è molto elevata)

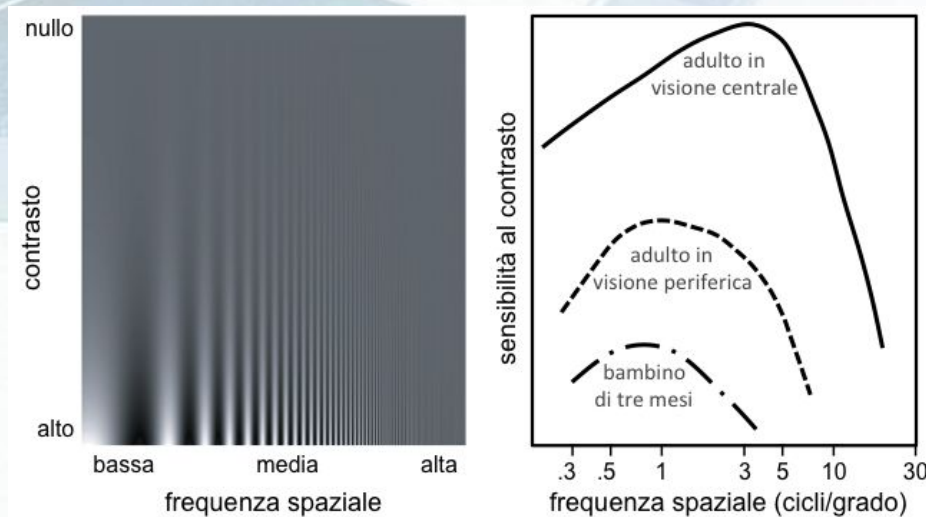
Astraendo dall'intensità, la *cromaticità* è rappresentabile come posizione all'interno del triangolo di Maxwell

Sensibilità visiva alla frequenza spaziale

Forme e movimenti possono essere veicolati efficacemente da immagini acromatiche composte da zone diverse solo per intensità

In un mondo acromatico lo stimolo elementare è un *reticolo sinusoidale*, variabile per *contrasto* (ampiezza dell'onda) e *frequenza* (numero di cicli nell'unità di spazio)

La sensibilità umana al contrasto in funzione delle frequenza spaziale è illustrata nella figura che segue



Sinistra: il contrasto varia da nullo (grigio omogeneo, in alto) ad alto (variazione sinusoidale da chiaro a scuro, in basso). La sensibilità al contrasto è minore per le frequenze spaziali basse e alte, e maggiore per le frequenze spaziali intermedie

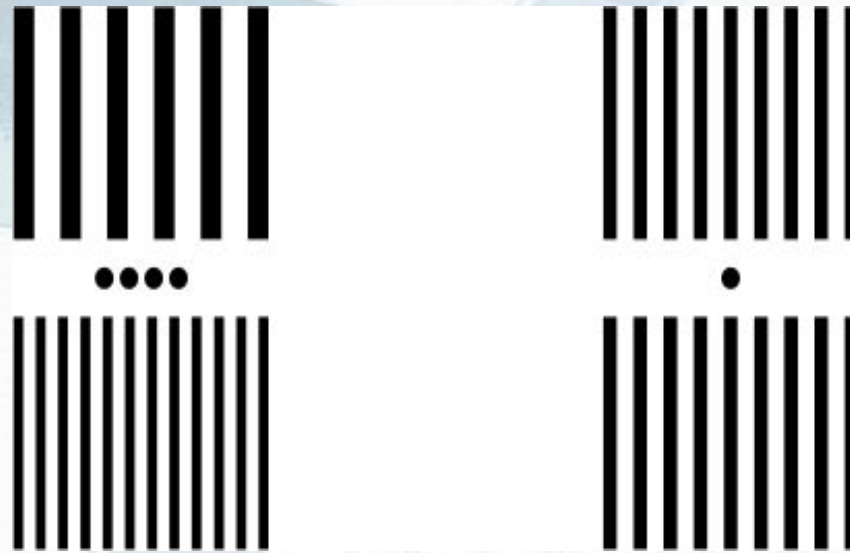
Destra: la visibilità dei reticoli di diversa frequenza spaziale varia in funzione dell'osservatore e della zona del campo visivo

Adattamento sensoriale

Adattamento sensoriale = perdita selettiva di sensibilità conseguente all'esposizione prolungata a una stimolazione costante

Es.: adattamento alla *frequenza spaziale*

- L'adattamento a una data frequenza si ottiene guardando dei reticoli di quella frequenza
- Ciò riduce la sensibilità dei sistemi neurali sensibili a quella frequenza spaziale
- L'adattamento influenza la percezione di altri reticoli a frequenza spaziale vicina a quella del reticolo di adattamento



Occorre guardare i quattro pallini tra i reticoli a sinistra per circa 60 secondi e poi spostare lo sguardo sul pallino tra i due reticoli a destra. Il reticolo superiore apparirà più fitto di quello inferiore

Conclusione

Il modello dei processi sensoriali come strumenti di registrazione delle proprietà metriche e dimensionali degli stimoli ambientali è inadeguato. La *registrazione sensoriale* avviene in modo efficiente ma non del tutto fedele

Il modello della registrazione deve essere abbandonato a favore di un modello basato sui concetti di *interpretazione* e *rappresentazione selettiva*