

Lezione 5

21/03/20

## Struttura interna della cute - Posizione dei meccanocettori

Ogni meccanocettore ha una posizione specifica per ruolo

1) Cellule di Meissner: nella zona di interfaccia tra epidermide e derma

2) Cellule di Merkel

3) Cellule di Ruffini

4) Sweat gland

5) Pacinian

### Recettori tattili:

Diversi tipi di recettori meccanici sono specializzati per una determinata dim della stimolazione tattile

Es: prendendo in mano un cubetto di ghiaccio ne percepiamo <sup>immediatamente</sup> la forma e la T

Sono situati negli strati esterni della pelle che quelli interni (derma)

Ogni recettore tattile ha 3 caratteristiche:

1) Tipo di stimolazione per la quale è sensibile

2) Grandezza del campo recettivo (la porzione di area dove deve cadere lo stimolo perché lo stimolo possa essere percepito)

3) Tempo di adattamento

### Tempo di adattamento:

Si distinguono in:

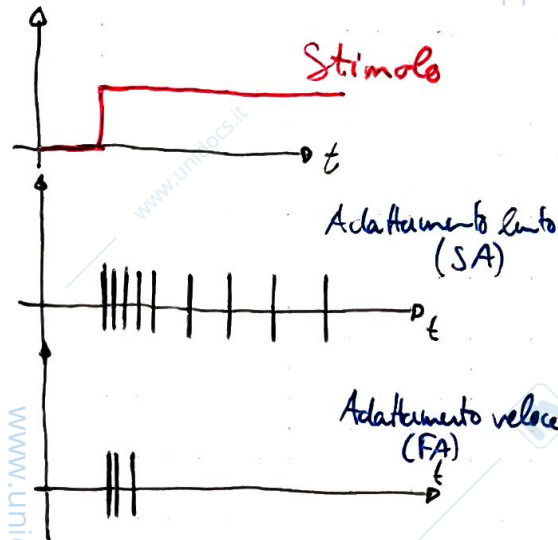
- Recettori con un t di adatt. breve (FA, Fast adapting):

Generano il potenziale d'azione quando uno stimolo per cui è sensibile è applicato nel suo campo recettivo e quando questo viene tolto.

Non è attivo durante lo stimolo (silenti)

- Recettori con un t di adatt. lungo (SA, Slow adapting):

Rimangono attivi per la maggior parte del t di presentazione dello stimolo.

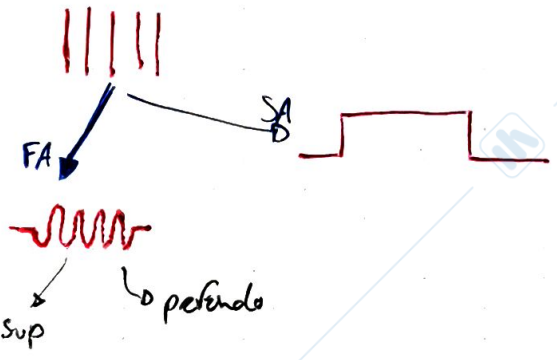


Con l'adattamento, il n° di p.d.A generati al sec si riduce nel t.  
 Ho mantenimento della scarica per tutta la durata del segnale

L'adattamento aumenta la precisione dei cambiamenti di pressione. Così, ades., la P costante degli abiti sul corpo non viene quasi percepita.

Cosa comprende il cervello tra i due tipi di rec?

- Se la fibra afferente è ad FA, allora lo stimolo sarà percepito come una vibraz. (infatti necessitano di una attivaz. ripetuta per generare una risp. tonica)
- Se la fibra è ad SA, allora lo stimolo sarà percepito come una P mantenuta



I 4 meccanoattori tattili

- 1) Corpuscoli di Meissner: FA Tipo 1, Campo recettivo (CR) piccolo
- 2) Cellule di Merkel: SA Tipo 1, CR piccolo
- 3) Corpuscoli del Pacini: FA Tipo 2, CR grande
- 4) Terminazioni di Ruffini: SA Tipo 2, CR grande

① e ② sono al pt di congiunzione tra derma ed epidermide e hanno CR piccolo  
 ③ e ④ sono + in profondità e hanno CR grande.

## Cellule di Merkel (SAI)

\* per cosa si attivano maggiormente.

Funzione primaria: Percezione della texture e della forma.

\* Feature di max sensibilità: Prestazione sostenuta,  $f$  molto bassa (0.4-3 Hz)

Esempio: Lettura del Braille o per capire la posizione e l'orientamento della testa di una vite.

## Corpuscoli di Meissner: (FA I)

Funzione primaria: Percezioni delle vibrazioni a bassa frequenza.

Feature di max sensibilità: Cambiamenti temporali nella deformaz. della pelle (3-40 Hz)

Esempio: per correggere la presa di un oggetto che sta scivolando.

## Corpuscoli di Pacini: (FA II)

Funzione primaria: Percezione delle vibraz. ad alta  $f$ .

Feature di max sensib: Cambiamenti temporali nella def della pelle (40-500 Hz)

Esempio: ogni volta che un ogg. viene per la prima volta in contatto con la pelle o per regolare l'utilizzo di un ogg. che stiamo tenendo e che fa contatto con un'altra sup.

## Terminazioni di Ruffini (SA II)

Funzione primaria: Posizione delle dita e presa stabile

Feature di max sensib: P sostenuta (verso il basso), stramento della pelle, svincolando sulla pelle. Bassa sensib. alle vibraz su un'ampia gamma di  $f$  (15-400 Hz)

Esempio: Per la  $f$  di presa (grasping).

Se si deve prendere una tazza di caffè questi recettori ci aiutano a sapere quando le nostre dita si sono posizionate correttamente per la presa.

## Lezione 6

26/03/20

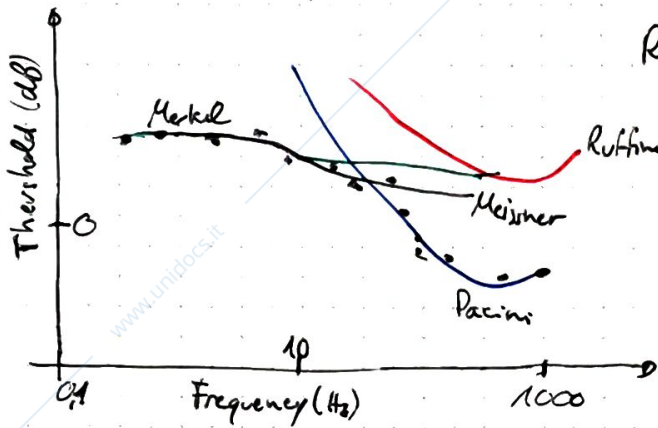
## Dati sperimentali sensibilità

Sistemi basati sulla elettrofisiologia per lo studio della risp sensoriale  
L'altro metodo è non invasivo ed è il metodo psicofisico.

## Elettrofisiologia:

Microelettrodi: in grado di prelevare la risp specifica del sensore

Resultati ottenuti sui polpastrelli



- Ampiezza vibrazionale minima vs frequenza
- Sensibilità delle punta delle dita

Average data lo ottengo da un test psicofisico

Come le caratteristiche rispondono i singoli meccanocettori?

Isolo il comportamento del singolo meccettore i microelettrodo nella zona di competenza

Come si vede Merkel è il primo che interviene (che risponde) SAI.

Ha un andamento pressoché costante ( $\approx 20$  dB)

Meissner comincia ad attivarsi sui 4-5 Hz (bisogna spostare l'elettrodo proprio recettore).

Pacini si attiva sui 10-20 e vediamo che si abbassa molto la soglia minima di attivazione

Ruffini si attiva sui 20 circa e ha un andamento simile al Pacini, ma meno accentuato.

## Sensibilità tattile

Quanto finemente riusciamo a rilevare dettagli spaziali? (a che precisione?)

Sensibilità tattile: quanto siamo in grado di poter rilevare una P e come varia la risposta dei recettori al varare della P.

Acuità tattile: poter distinguere due stimoli simultanei.

Metodo della soglia tattile di due punti:

La dist. minima fra due stimolaz. tattili che riusciamo a distinguere

Loomis ha calcolato che cell'h delle dita si può arrivare a distinguere separazioni di stimolo di 1mm

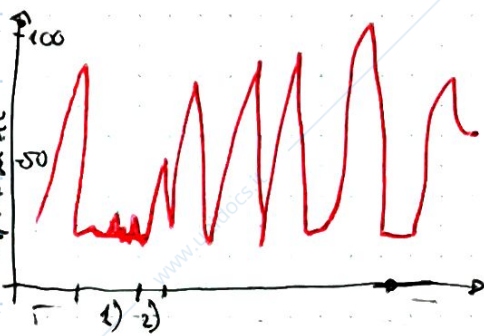
Più recentemente, con metodi oggettivi di misura richiedono il riconoscimento di movimenti di oggetti con sup. specifiche (nanosure un'ogg. fatto a punta da uno rettangolare).

La sensibilità tattile non è uguale in tutto il corpo.

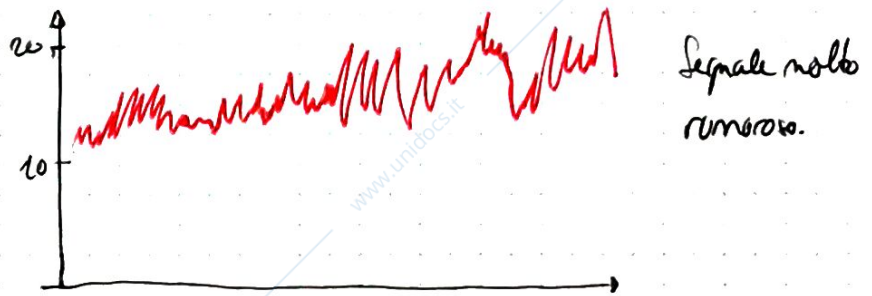
Per percepire due stimolaz. come separate:

- bisogna che a livello della cute ci sia una densità di recettori sufficiente a rilevare la presenza di due stimoli (campo <sup>(CR)</sup> recettivo abbastanza piccolo)
- i segnali devono restare separati nel loro percorso verso la corteccia somatosensoriale.

Merkel (SAI)



Pacini (RAII)

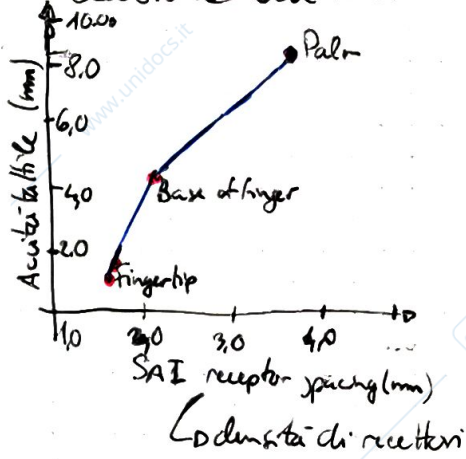


Segnale molto  
rumoroso.

In ascissa c'è una barra con diverse scandature (scandatura crescente).

- 1) scandature troppo piccole per essere rilevate, si hanno piccoli vanzi.
- 2) Quando la scandatura  $\rightarrow$  1mm il segnale diventa molto + evidente. Conferma che c'è un recettore che ci dà indicazioni sulle texture (Braille)

## Correlazione tra n. di cell. Merkel e variabilità tattile



A volte i segnali elettrici devono percorrere anche 2m prima di arrivare al SNC.

Per coprire certe distanze le info tattili passano attraverso il midollo spinale.

Inizialmente gli assoni di diversi recettori tattili si uniscono in singoli fasci nervosi (nerve trunks).

## Percorsi tattili

I nervi somatosensibili sono molteplici e provengono da varie zone del corpo.

Si hanno due tipi di percorsi:

### 1) Percorso spinotalamico:

Evolutivamente + antico, con + strutture sinaptiche al suo interno (+ sinapsi). Ciò rallenta la v del segnale <sup>principalmente</sup>

È la via che viene usata dai segnali di T della pelle e del dolore.

### 2) Percorso colonna-dorsale lemnisco mediale: (DCLM)

Formato da neuroni + grandi, meno sinapsi → + veloce

Questa è la via utilizzata per le info tattili e propriocettive

I neuroni di questo percorso fanno le loro prime sinapsi nella medulla (verso alla base del cervello). Le info tattili da qui raggiungono il nucleo ventrale posteriore del talamo.

Dal talamo le info tatt. arrivano alla corteccia e in particolare all'area somatosensibile primaria (S1) situata nel lobo parietale.

S1 comunica con S2 che si trova al di sopra del solco laterale, ma comunica anche con le altre aree corticali.

Le sensazioni tattili sono rappresentate nell'area S1.

Area vicina della corteccia corrisponde ad aree vicine ~~vicine~~ nella corteccia somatosensoriale. Il cervello contiene diverse mappe somatosensoriali che si trovano tra S1 che in S2.

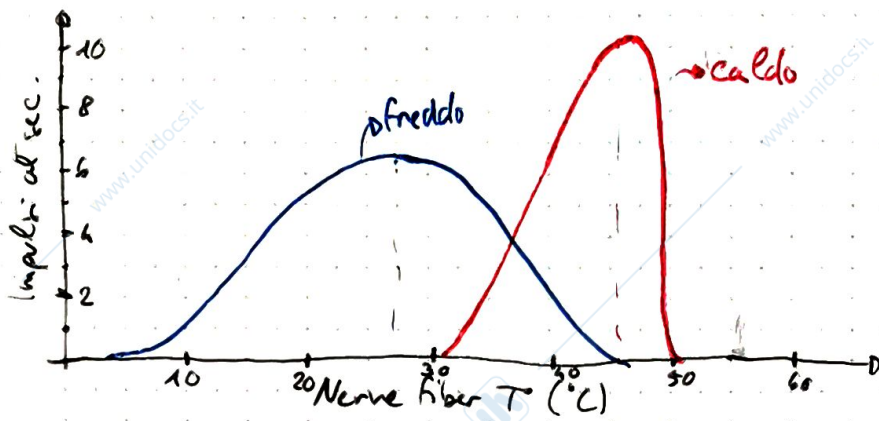
Tutto ciò dà vita al cosiddetto Homunculus: mappatura creata da Penfield grazie a studi su epilettici.

Mappe corporee distorte:

La disposizione riflette le caratteristiche (convergenza e campi recettivi) dei nuclei delle colonne dorsali.

Convergenza: a parità di recettore (CR piccolo) 3 segnali convergono verso un solo neurone secondario che darà un solo segnale  $\Rightarrow$  minore attività.





## Nocicettori:

Recettori che trasmettono info circa stimolaz. nocive che possono causare o essere potenzialm dannose per la pelle. (anche le  $T^{\circ} > 45^{\circ}\text{C}$  e  $T^{\circ} < 15^{\circ}\text{C}$ )

Si dividono in due gruppi:

- 1) Fibre A-delta: rispondono preferibilm. a grandi pressioni e al calore. Queste vie sono mielinizzate  $\Rightarrow$  conduzione molto rapida.
- 2) Fibre C: rispondono a stimolazioni intense di varia natura: pressione, calore, freddo o sost chimiche nocive. Non sono mielinizzate.

Il dolore di solito si presenta in due stadi:

- 1) Una prima frustata dolorosa
- 2) Sensazione pulsante.

Il dolore serve per farci rimanere vigili dai diversi pericoli dell'amb circostante

## Percezione tattile: APTICA.

È quel fenomeno che ci dà conoscenza del mondo derivata dai recettori sensoriali e che richiede un processo di esploraz. attiva.

Due modalità:

- 1) Agire per percepire
- 2) Percepire per agire

## 1) Agire per percepire:

- Procedure esplorative, ovvero movimenti stereotipati della mano quando vogliamo capire meglio un oggetto

Tali movimenti/procedure sono ottimizzati per ottenere precise info circa 1/2 caratteristiche di un oggetto (es: per riposata si fa il solito movimento laterale)

## 2) Percepire per agire:

- L'uso del sistema somatosensoriale per controllare una presa o per la manipolazione di oggetti in cond. stabili o per il mantenimento della corretta postura implicano la capacità di poter percepire per saper agire.

## Lezione 8

02/04/2020

## Agire per percepire

- Lederman &amp; Klatzky (1987)

Movimenti:

- Movimento laterale per capire la texture di un oggetto.
- Applicazione di una pressione per percepire la durezza.
- Contatto statico per la  $T$
- "Unsupported holding" per il peso
- "Enclosure" (prendere in mano un bicchiere) per la forma globale e per il volume
- Contornare con un dito per la forma globale e per una forma + accurata (forma esatta)

Esempio: movimento laterale per la texture

Johnson (2002) ha scoperto che sono i recettori SA1 quelli maggiori resp. per la percezione della rugosità di una superficie.

Si attivano fino a 10 volte di + quando c'è un movimento relativo tra la pelle e la superficie rispetto a un contatto statico.

## Impronte digitali

Ruolo molto importante nella percezione.

Le specifiche creste e valli aiutano il riconoscimento delle superfici fini.

L' h delle creste va dai 100 ai 300  $\mu\text{m}$ , mentre il periodo cresta-solco è circa 500  $\mu\text{m}$ .

Queste caratteristiche permettono di amplificare di un fattore 100 le specifiche frequenze:

- range 200-300 Hz, le altre vengono filtrate. Questo range coincide con quello dei meccanocettori FAII (Pacini). Questo migliora la percezione della superficie.

## La via tattile del cosa (WHAT)

Il sist tattile è particolarm. adatto per percepire le caratteristiche dei materiali più che le sue caratt. (rugosità ecc) dei mat. che quelle geometriche

La percezione globale della forma di un ogg non è caratt. del senso del tatto.  
Sarà + compito della vista.

Molti ogg. sono comuni per il riconoscimento visivo, ma + difficili attraverso il solo tatto.

## La via tattile del dove (WHERE)

- Conoscenza della posizione di un ogg. attraverso il solo tatto (es: la sveglia al mattino)

Frame di riferimento: sistema di coordinate usato per definire la posizione nello spazio.

Il centro del frame è detto Egocentro e in visione è sistemato in mezzo agli occhi; in acustica in mezzo alle orecchie, nel tatto ce ne sono diversi.

Il tatto ha una via specializzata per il process. della info sulla pos dell'oggetto.

## Ricerca tattile:

Riconoscere delle caratt. ancora prima di un'analisi approfondita.

Il riconoscimento tattile di un ogg rugoso in mezzo ad ogg lisci è chiaramente un processo di ricerca parallelo e non seriale (studio di Lederman e Klatzky 1997)

Hanno creato un meccanismo a cui venivano presentati gli oggetti a contatto con i polpastrelli (distrattori e target)

Il sistema tattile è più predisposto per determinare le caratteristiche dei materiali che le caratt. geometriche.

## Recettori meccanici più interni

Ci sono altri rec meccanici all'interno di muscoli, tendini e giunture.

Recettori cinestetici giocano un ruolo fondamentale nella percezione della propria posizione nello spazio

La percezione dell'angolo formato da un arto all'OH della giuntura è effettuata da rec muscolari chiamati fusi (spindles) che segnalano la  $\theta$  con cui le fibre muscolari stanno variando la loro  $l$ .

Recettori nei tendini segnalano la tensione dei muscoli legati a quei tendini

Recettori all'int delle giunture si attivano quando l'articolazione è piegata al massimo delle sue possibilità.

Un fuso muscolare innestato in una fibra muscolare contiene fibre interne.

Quando si contraggono, parte un segnale dal fuso verso il SNC circa la  $l$  dei muscoli in modo da permettere la regolazione della loro tensione.

## Il tatto artificiale

Il tatto naturale è molto complesso:

- Ha un alto grado di abilità per la  $f$  di presa e manipolazione
- Ha sofisticate capacità di manoscuer gli oggetti.
- Rileva la  $T$ , forza e dolore
- Potente integrazione senso-motoria

Come l'uomo ha cercato di riprodurre queste caratteristiche?

La mano umana ha 32 gradi di libertà

Non esiste ancora un dispositivo del genere

Si ha diffic. di integrare  $F$ , senso dello spostamento e posizione

L'obiettivo è ottenere un dispositivo dotato di versatilità, leggerezza e sensibilità.

## Sviluppo di protesi

Lo scopo è ripristinare (o sostituire totalmente) funzioni danneggiate o perse (meccaniche e manipolazione).

Requisiti di cosmetica e accettabilità da parte dell'utente limitano l'uso di disp. tecnologicam. complessi.

La maggior parte delle protesi della mano sono semplici con pochi g.d.l.

L'aspetto estetico è molto + importante, per i soggetti, dell'aspetto meccanico.

Le strutture cosmetiche danno risposta pos. all'utente dal punto di vista usivo, ma non hanno funzionalità meccaniche particolari.

- Mani mioelettriche sensor-hand speed: strutture con complessità ridotta: 3 dita <sup>pinza</sup> meccaniche e 2 cosmetiche. I segnali arrivano dai muscoli residui (segnali mioelettrici).

- Mano Michelangelo: la parte cosmetica ha minore imp.; ha 7 tipologie di prese diverse. È anche + complessa da utilizzare.

- Mano BeBionic: 14 schemi di presa della mano, + complessa.

Bisogna <sup>tendere a</sup> replicare queste caratt:

- Risoluzione spaziale di circa 1-2mm (metodo dei due punti)

Segnali non in contemporanea  $\Rightarrow$  0,1mm

- Riconoscere piccole sporgenze fino a 10nm circa

- Risoluzione temporale = 5ms

Come possiamo replicarli?

- Array di sensori, capaci di  $\int$  num elevato di pt sensibili in minor ingombro  
Elevata densità e CR piccolo.

Sensibilità alla forza:

Grado di sensibilità in  $f$  dell'ogg manipolato. La  $F$  per maneggiare un piombino o una patatina.

Range di applicazione: 0,01-10 N

Range dinamico con alta sensibilità per piccole  $F$ . (espressione logaritmica)

## Metodi di trasduzione tradizionale:

- 1) Capacitivi
- 2) Piezoresistivi
- 3) Termoresistivi
- 4) Piezoelettrici
- 5) Magnetici
- 6) Ottici

### ① Capacitivo

$$C = (A \epsilon_0 \epsilon_r) / d$$

A = sup. facce del condensatore

d = variabile dip. dallo stimolo

Variazione di capacità:

Genericamente hanno una buona risp. frequenziale; grande range dinamico

Alta risoluzione spaziale

Sono suscettibili al rumore ed elettronica di lettura complessa.

- Lo studio di Viry mostra particolarità nei suoi elettrodi in tessuto conduttivo non deformabile.

Il dispositivo è un polimero (PDMS) a strati.

È costituito da 5 elettrodi su due livelli: quattro nella struttura inf e 1 in quella sup.

Una variazione di una F la noterò come una variazione di capacità.

- Lavoro di Kang

Bielettrodo ispirato alla natura porosa delle spugne. È facilmente integrabile alla p.etri.

Gli elettrodi sono di ossido di stagno dell'indio su substrato sottile di PET  
Disposto ad array (15x15) con ogni cella

## Lezione 9

07/04/20

La funzionalità del bios di Kang: modificando il  $\phi$  dei pori è possibile variare la sensibilità del sensore.

## Sensori piezoresistivi

Variano la loro  $R$  elettrica in  $f$  di  $P$ /Fupplata

Pro: Circuiti elettronici semplici ed efficaci

2 metodi: a corrente costante o tensione costante

Contro: Soffrono di isteresi

- Comunque sviluppati con materiali plastici (gomme, elastomeri o inchiostri conduttivi)

Range minore

Lo studio di Jung: (integra con slide)

Dispositivo composto da un blocco centrale (riferimento) e 5 elementi sensibili posti lateralmente e superiormente.

Permettono di discriminare gli sforzi multiassiali.

La lettura della  $\Delta R$  si effettua tra il blocco centrale e gli elementi laterali

## Sensori piezoelettrici

Capacità di un materiale, dalla composizione cristallina, di generare una tensione in risposta ad una def. meccanica (attraverso lo spostamento di cariche all'interno)

Permette di rilevare l'intensità di uno stimolo tramite la  $d_{33}$  che si genera ai capi.

Choi: sviluppa un sensore per la rivelazione della rugosità di una superficie. Queste caratt. vengono misurate tramite le vibrazioni rilevate durante lo scivolamento del contatto sensore-superficie.

Il sistema misura la  $\Delta$  di tensione in  $f$  della freq. tramite FFT

## Strain Gauge

Misurano con molta precisione la def. meccanica.

Misurano la  $\Delta R$  elettrica.

Risentono della  $\Delta T$  e dell'umidità, si mette un Ponte di Wheatstone per compensare.

Soggetti a isteresi.

## Funzionalità tattile:

Il sistema tattile svolge prevalentemente due f:

1) Manipolazione degli oggetti

- Fondamentale localizzare i pt di contatto pelle-oggetto (stimoli dinamici: es.  $\dot{x}$ )

- Determinazione della  $F$  da applicare

2) Percezione delle caratteristiche ambientali.

## Pelle artificiale

Essere in grado di sviluppare delle strutture che hanno diverse modalità di risposta a più stimoli.

esempio: E-skin intelligente: completa di sensori di  $P$  ed  $df$ , sensori di umidità e  $T$ , ora rete di attuatori termici per il mantenimento della  $T$ . \*

Un'altra caratteristica del tatto è la capacità di rilevare gli scivolamenti:

- Chaffouranga nella sua analisi agli elementi finiti di una simulazione 3D di scivolamento del polpastrello su una sup., dimostra che è importante rilevare gli scivolamenti che avvengono alla rottura dei pt di contatto.

- Fase incipiente, indice di una perdita di contatto con l'oggetto e quindi della necessità di applicare una  $F$  maggiore.

# La vista

Solo la visione rappresenta circa il 70% delle percezioni che l'uomo riceve. La luce che proviene da un oggetto entra negli occhi, attraverso un sistema di lenti naturali che convergono l'info verso la parte sensibile dell'organo (retina) per la trasf in impulsi elettrici che si propagano verso il cervello.

Un parallelo che si può fare è con la macchina fotografica:

La luce viene convergata dalle lenti dell'obiettivo e va ad "impressionare" la pellicola o il sensore digitale.

## Occhio:

La f è quella di trasdurre le onde elettromagnetiche della luce in impulsi nervosi che vengono trasmessi al cervello tramite il nervo ottico.

La struttura è molto complessa ed è basata su 3 diverse membrane che sono avvolte sull'altra.

- 1) Tonaca fibrosa (sclera e cornea) <sup>pupilla</sup>
- 2) Tonaca vascolare - (corpo ciliare, iride) e coroid)
- 3) Tonaca nervosa (retina)

① Sclera: strato fibroso bianco che avvolge interamente l'occhio (circa  $\frac{2}{5}$  dell'orbita). Membrana compatta, resistente e poco elastica (muscoli oculari)

Le funzioni principali sono:

- Mantenere la forma del bulbo oculare
- Proteggere le diverse strutture interne

Cornea: segmento anteriore della tonaca fibrosa

È la prima lente naturale che la luce incontra, lente convessa che si trova davanti all'iride. Sporge in avanti nei confronti della sclera per via del r di curvatura piccolo.

È una lamina trasparente, incolore, molto sensibile poiché ricca di terminazioni nervose.

② È una membrana interna, ricca di vasi, interposta tra la sclera e la retina

Porta i nutrienti

Coroide: localizzata tra retina e sclera

È costituito da una fittissima rete di vasi sanguigni in diretta continuità con l'iride.

Le sue funzioni sono:

- portare nutrimento alla retina
- difesa dell'occhio

Corpo ciliare: costituito da muscolo ciliare (liscio) e dai processi ciliari.

Muscolatura in grado di far modificare la funzionalità della 2<sup>a</sup> lente dell'occhio

Accomodamento oculare: il musc. ciliare, contrandosi, cambia la curvatura del cristallino. Adatta così la visione di oggetti lontani e di oggetti vicini.

Irìde: è la parte colorata dell'occhio

Il colore è dovuto alla presenza di specifici pigmenti (abbundante negli occhi scuri e scarso negli occhi chiari). Struttura ricca di vasi sanguigni.

Al centro si trova la pupilla che è ciò che veicola la <sup>quantità</sup> giusta di luce per la visione ottimale.