

NEUROFISIOLOGIA

Bagni

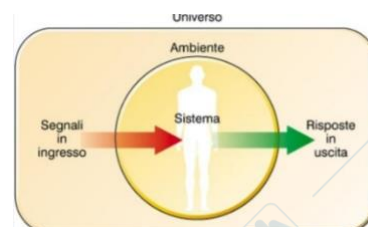
LEZIONE 6

La neurofisiologia si occupa dello studio del sistema nervoso, rappresenta l'uomo al centro dell'universo, o meglio dell'ambiente della terra, che a sua volta è una parte dell'universo; perché in effetti siamo sempre immersi dentro un qualcosa in cui continuamente riceviamo informazioni.

Siamo un sistema che come una macchina riceve continuamente segnali d'ingresso e dà risposte in uscita; è proprio il sistema nervoso quello che svolge questo compito di interazione e risposta, lo studio della neurofisiologia ha questa impostazione; partiremo dal capire le interazioni con ciò che ci circonda, successivamente vedremo come il nostro organismo risponde a queste interazioni.

Importante per il vostro lavoro di riabilitazione è capire: non si può scindere le informazioni che entrano e che interagiscono con noi con quello che è il movimento, riabilitare un movimento non vuol dire agire solo sulla parte motoria, perché la parte motoria sempre e comunque interagisce con la parte sensoriale.

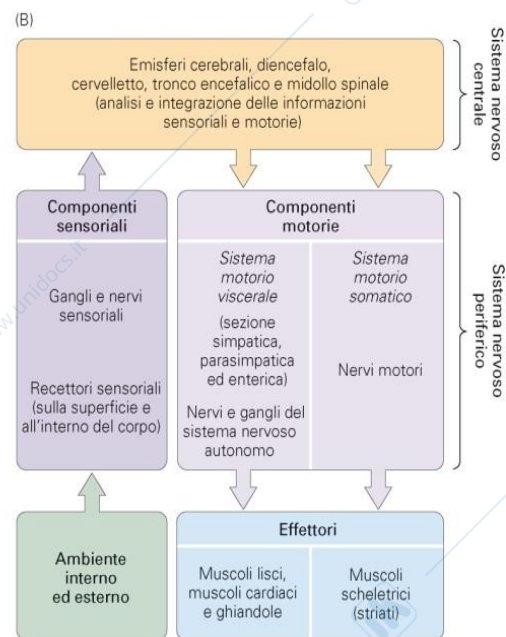
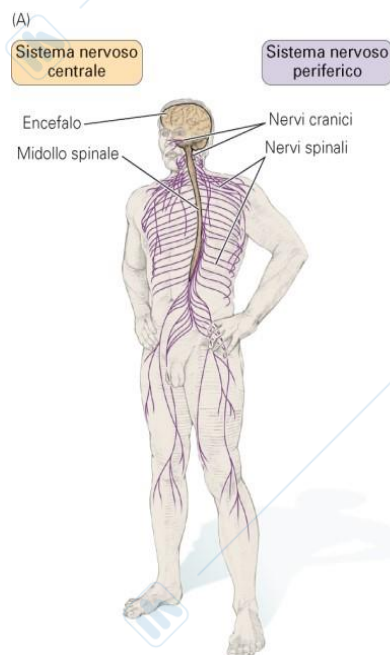
Dovete tenere bene a mente l'importanza della giunzione delle sinapsi e neurotrasmettitori.



Segnali diretti e di uscita

Facciamo un riassunto di anatomia.

Il sistema nervoso centrale è costituito dall'encefalo, le diverse parti degli emisferi, tronco encefalico, cervelletto, dal midollo spinale che è una struttura unica, ha parte superiore allargata, è un qualcosa che è continuo non ci devono essere interruzioni, il sistema nervoso periferico dai nervi spinali e dai nervi cranici.



Immagine

Principali componenti del sistema nervoso e loro rapporti funzionali.

(A) il SNC (encefalo e midollo spinale) e il SNP (nervi cranici e nervi spinali).

(B) Schema dei principali componenti del SNC e SNP e dei loro rapporti funzionali. Gli stimoli dall'ambiente esterno sono trasmessi ai circuiti di elaborazione dell'encefalo e del midollo spinale, che a loro volta ne interpretano il significato e inviano segnali agli effettori periferici che fanno muovere il corpo e regolano il funzionamento degli organi interni. [Slide 7] C'è una divisione: componente di tipo vegetativo e una componente di tipo somatico (che va a organi a ghiandole o muscolo cardiaco o scheletrico) ma il sistema

nervoso autonomo non ha recettori con caratteristiche diverse da quello del sistema nervoso somatico, i recettori hanno tutti le stesse caratteristiche.

Faremo questo percorso ambiente interno-esterno che va a interagire con strutture che sono i recettori sensoriali che si trovano sulla superficie all'interno del corpo, che attraverso i gangli i nervi sensoriali portano l'informazione verso gli emisferi cerebrali, diencefalo, cervelletto, tronco encefalico e midollo spinale, portano le informazioni al sistema nervoso centrale in cui avviene l'analisi e integrazioni delle informazioni sensoriali e motorie.

Il **sensoriale** ve lo dovete immaginare come un qualcosa che dalla periferia va verso il centro, questa *informazione sensoriale* deve arrivare alla corteccia o ai centri del sistema nervoso centrale e da lì si ha due *componenti motorie*: una che riguarda il **sistema motorio viscerale (sistema nervoso autonomo)** quindi la parte *simpatica parasimpatica e gastroenterica* che attraverso nervi e gangli andrà ad avere la sua azione; questi avranno bisogno di passare loro comando ad un *effettore* che nel caso del sistema nervoso autonomo sono *muscoli lisci, la muscolatura cardiaca e le ghiandole*. Avremo poi una risposta motoria che attraverso i nervi cranici e spinali ha come organo effettore il **muscolo scheletrico**.

Tanto per ricordarvi che l'anatomia va saputa faccio una lezione specifica sulle corteccie cerebrali per ribadire alcuni concetti che dovete sapere.

IL SISTEMA NERVOSO

VISTA LATERALE DEL SNC

(a) Cervello, Midollo spinale, Vertebre

ANATOMIA DELL'ENCEFALO

(b) Visione laterale dell'encefalo: Lobo frontale, Lobo parietale, Lobo occipitale, Lobo temporale, Ponte, Cervelletto, Midollo allungato o bulbo

(c) Visione sagittale mediana dell'encefalo: Lobo frontale, Giro del cingolo, Lobo parietale, Corpo calloso, Lobo occipitale, Cervelletto, Lobo temporale, Ponte, Midollo allungato o bulbo

(d) Visione laterale del tronco encefalico: Superficie di sezione dei fasci ascendenti al cervello, Tratto ottico, Ponte, Midbrain, Superficie di sezione dei fasci ascendenti al cervelletto, Nervi cranici, Midollo allungato o bulbo, Midollo spinale

(e) Il cranio: Oso frontale, Oso parietale, Oso temporale, Oso occipitale

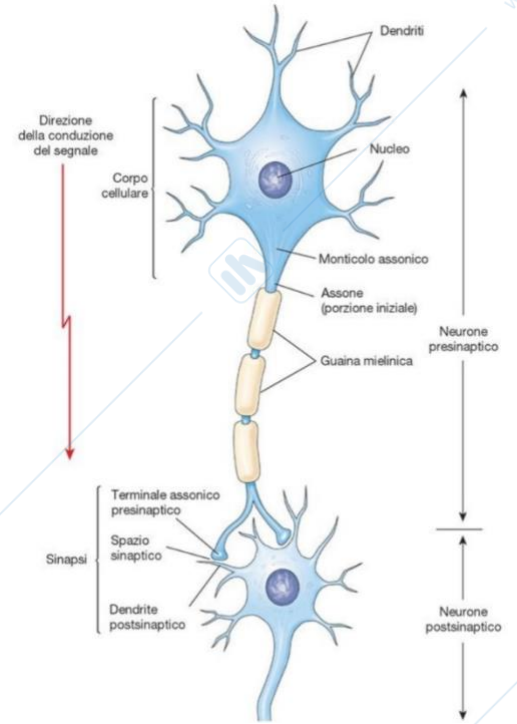
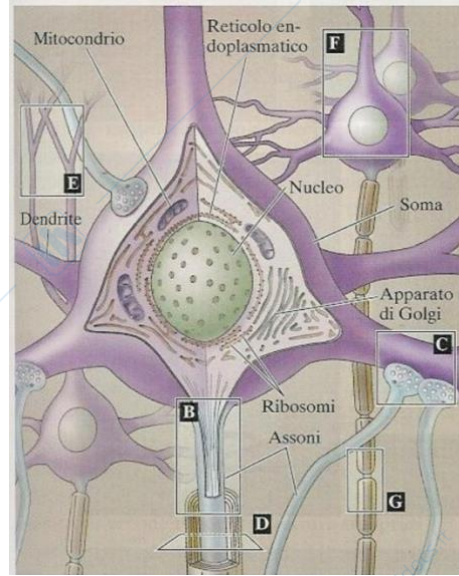
Nuclei della base

7. Emisfero cerebrale
6. Diencefalo
5. Mesencefalo
4. Cervelletto
3. Ponte
2. Bulbo
1. Midollo spinale

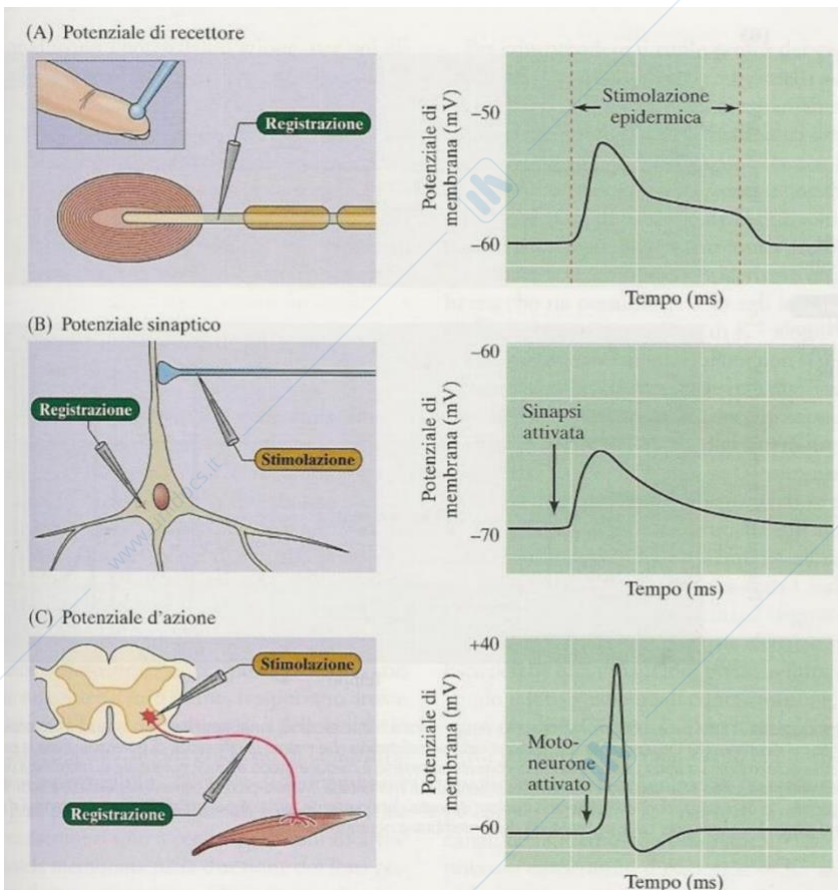
Fallosfero, Mesencefalo, Romboencefalo, Torcillo, Lombare, Sacrale

FUNZIONI DELL'ENCEFALO	
REGIONE	FUNZIONE
Cervello (Lobi frontale, parietale, occipitale e temporale) <ul style="list-style-type: none"> • Corteccia cerebrale (vedi fig. 9-15) <ul style="list-style-type: none"> Aree sensoriali Aree motorie Aree di associazione • Nuclei della base (vedi fig. 9-11) • Sistema limbico (vedi fig. 9-13) <ul style="list-style-type: none"> Amigdala Ippocampo 	Percezione Movimento del muscolo scheletrico Integrazione dell'informazione e coordinazione del movimento volontario Movimento Emozione e memoria Memoria e apprendimento
Diencefalo (vedi fig. 9-10) <ul style="list-style-type: none"> Talamo Ipotalamo Ipofisi Epifisi 	Centro di integrazione e stazione di passaggio per le informazioni motorie e sensoriali Omeostasi e comportamenti istintivi (vedi tab. 9-2) Secrezione di vari ormoni Secrezione di melatonina
Cervelletto	Coordinazione del movimento
Tronco encefalico <ul style="list-style-type: none"> Mesencefalo Ponte Bulbo, o midollo allungato 	Movimento oculare Stazione di passaggio fra cervello e cervelletto; controllo del respiro Controllo delle funzioni viscerali
Formazione reticolare (vedi fig. 9-19)	Stato di coscienza, cicli sonno-veglia, tono muscolare, modulazione del dolore

Il **sistema nervoso** ha come unità anatomica il neurone, esistono anche altre cellule nervose che hanno ad esempio funzione di sostegno, ma il neurone è quello che ha il compito di ricevere elaborare e trasmettere informazioni. Un **neurone** come tutte le cellule avrà un nucleo, un sistema in cui riceve informazioni, una parte post sinaptica e presinaptica.



E quale sarà il **linguaggio del sistema nervoso**?



Una **variazione del potenziale di membrana** sia come potenziale elettrotonico locale o come potenziale d'azione (è quello che in tutti i nostri apparati indica che qualcosa funziona oppure no).

Tratteremo di schemi composti solo da una cellula che va su un'altra cellula, ma in realtà dobbiamo immaginarci qualcosa che va in tutte le direzioni, con neuroni che hanno migliaia di sinapsi eccitatorie, inibitorie pre e post gangliari.

Diversi tipi di segnali elettrici neuronali.

In tutti gli esempi mostrati sono stati usati microelettrodi per misurare i cambiamenti del potenziale di membrana a riposo durante il segnale specifico.

(A): un breve tocco causa un potenziale di recettore in un corpuscolo di Pacini a livello epidemico.

(B) L'attivazione di una termine sinaptica in un neurone piramidale ippocampale provoca un potenziale sinaptico.

(C): La stimolazione di un riflesso spinale produce un potenziale d'azione in un motoneurone spinale.

Classificazione anatomica e funzionale dei neuroni

I neuroni pseudounipolari hanno un singolo processo che viene chiamato assone. Durante lo sviluppo il dendrite si è fuso con l'assone.

I neuroni bipolari hanno due processi che si dipartono dal corpo cellulare.

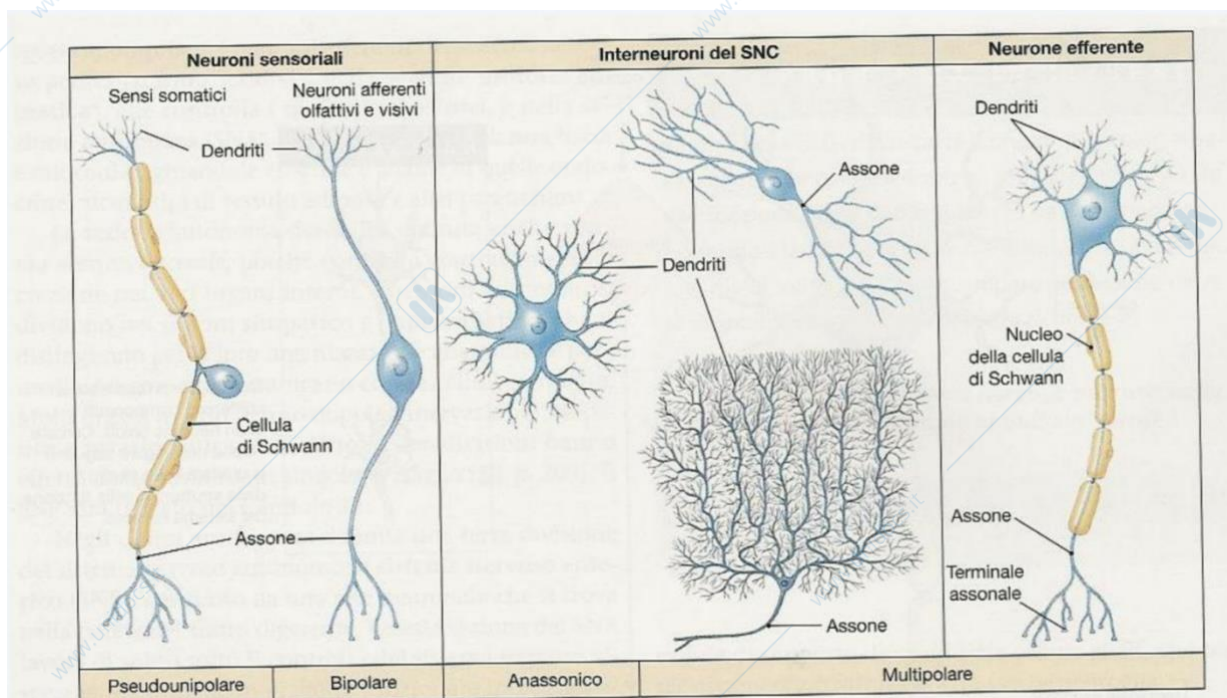
Gli interneuroni assonici del SNC non hanno un assone evidente.

Gli interneuroni multipolari del SNC sono altamente ramificati, ma non hanno processi lunghi.

Un tipico neurone efferente multipolare possiede dai cinque ai sette dendriti, ciascuno dei quali si ramifica da quattro a sei volte. Il singolo assone può ramificarsi molte volte, poi finisce con delle dilatazioni, i terminali assonali.

Quindi ci sono diversi tipi di cellule nervose: quelle sensoriali, sono quasi tutte come prima o seconda cellula pseudounipolari a T o bipolari che hanno un corpo cellulare con il suo nucleo e tutti gli organelli, inoltre hanno un ramo che può essere o no mielinizzato che va verso il centro e uno verso la periferia, gli interneuroni sono specifici del sistema nervoso centrale non si trovano a livello periferico.

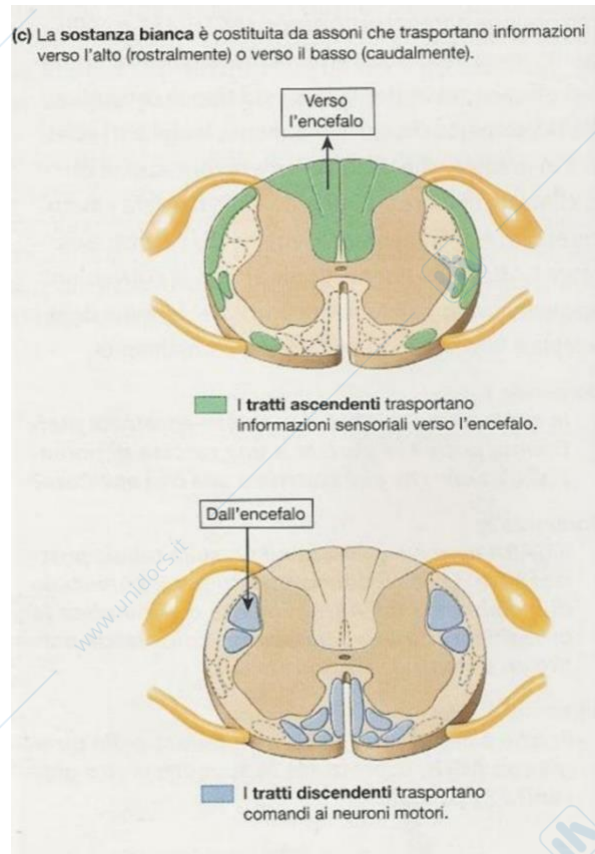
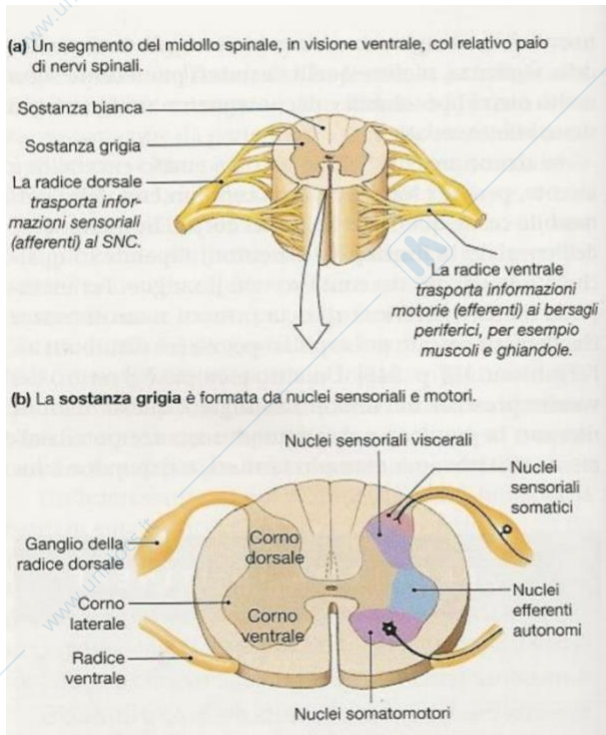
Quale sarà la cellula nervosa che porta il segnale al muscolo scheletrico?" Il motoneurone alfa l'abbiamo visto con sinapsi e giunzione, ed ora a livello del sistema nervoso centrale.



Il midollo spinale

Parlando di midollo spinale proprio per il fatto che nelle fibre afferenti e efferenti abbiamo una diversa divisione in segmenti cervicali, toracici e lombari. È presente sostanza bianca e grigia, quella bianca è quella più esterna dove abbiamo scorrimento verso l'alto e verso il basso delle informazioni, in cui troveremo gli assoni delle fibre nervose, mentre nella sostanza grigia non è presente la guaina mielinica a livello del soma della cellula nervosa, quindi avremo ingresso o uscita delle vie.

L'ingresso delle vie sensoriali è sempre dalla parte dorsale, l'uscita delle risposte è sempre ventrale al midollo spinale, all'interno della zona grigia troveremo gli interneuroni quindi quelli che sono le elaborazioni dei messaggi sia di ingresso sia di uscita. Le fibre in ingresso entrano dalla parte dorsale e poi decorrono principalmente dorsalmente le vie di uscita usciranno dalla parte ventrale e decorreranno principalmente dalla parte più laterale e mediale.



Vie nervose che formano i tratti ascendenti e discendenti del midollo spinale

(a): La colonna dorsale e i tratti spinotalamici laterali

Entrambe queste vie originano dai recettori sensoriali periferici e viaggiano fino al midollo spinale, fornendo informazioni sensoriali al talamo e poi alla corteccia cerebrale.

La colonna dorsale passa dall'altro lato nel tronco dell'encefalo, ove decorre controlateralmente come lemnisco mediale.

Il tratto spinotalamico attraversa invece la linea mediana già nel midollo spinale.

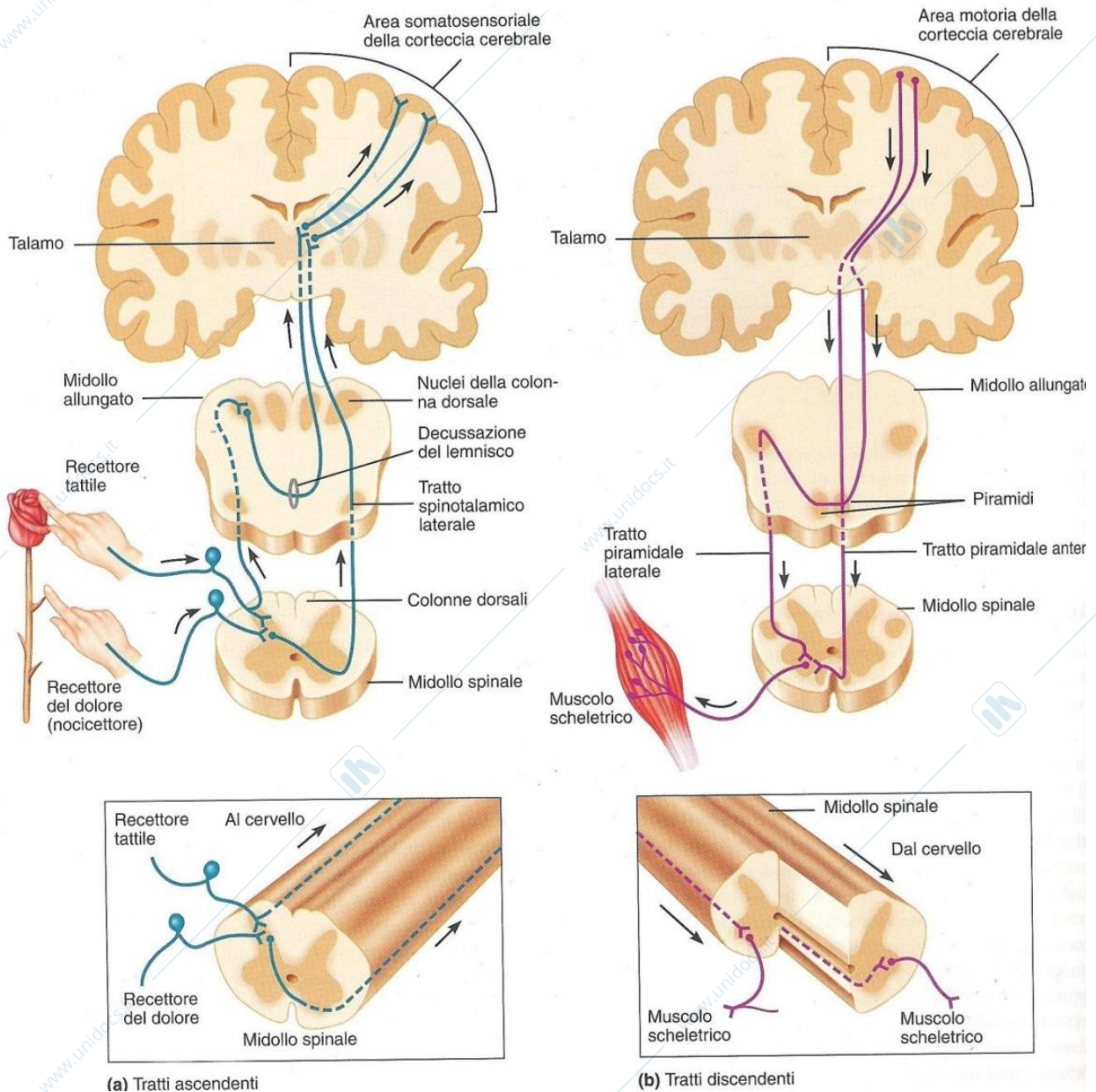
(b): I tratti piramidali

Entrambi i tratti piramidali originano nella corteccia motoria primaria.

Il tratto piramidale laterale attraversa la linea mediana nelle piramidi bulbari mentre il tratto piramidale anteriore incrocia a livello del midollo spinale.

Entrambi i tratti terminano nelle corna ventrali del midollo spinale, dove comunicano con i motoneuroni che innervano i muscoli scheletrici.

L'immagine che ho descritto nel punto (a) e che troviamo di seguito la mostrerò più di una volta perché sto parlando di una cellula afferente che porta una informazione sensoriale che entra nel midollo spinale che, se risale nella parte superiore del nostro sistema nervoso centrale, entra nel midollo spinale e avrà diversi collaterali, cioè la stessa informazione che proviene dalla periferia salirà verso la corteccia e entrerà in circuiti nervosi a livello di midollo spinale o di tronco encefalico; lo stesso stimolo interno o esterno con cui ho interagito avrà più compiti.



IL SISTEMA SENSORIALE

Comprende i sistemi che permettono all'individuo di estrarre informazioni dall'ambiente esterno o interno e di elaborarle per formare sensazioni o percezioni.

La fisiologia della sensibilità è tradizionalmente divisa in due aree:

- *Oggettiva*: che studia i processi fisico-chimici (i circuiti nervosi)
- *Soggettiva*: che analizza gli eventi mentali

Se tocate con il polpastrello la superficie del banchino, che sensazione avete? Pressoria, tatto, ma anche termica. A occhi chiusi? La posizione della mano. Se sulla superficie ci fosse una temperatura elevata o una scheggia, l'interazione porterebbe a un movimento immediato, porterebbe ad un riflesso con cui allontaneremmo la mano ed il movimento ci porta una sensazione. Mentre si piega una delle dita a occhi chiusi si ha sensazioni di tipo sensoriale (variazioni di propriocezione della mano).

Il sistema nervoso ha diversi circuiti nervosi che sono gli stessi in tutti gli individui (almeno in una situazione fisiologica), invece la rielaborazione della informazione sensoriale avrà una componente affettiva importante nel lavoro di fisioterapista.

Lo stesso movimento o sensazione può avere risvolti diversi, rientra nell'emozione, ad esempio se vi dico di toccare il banchino avete sensazione di tatto, se vi dico di toccare la guancia del vicino avreste sensazioni uguali ma dal punto di vista soggettivo c'è molta differenza anche se è sempre tatto, questo scatena una serie di sensazioni; la soggettività la affronteremo poco.

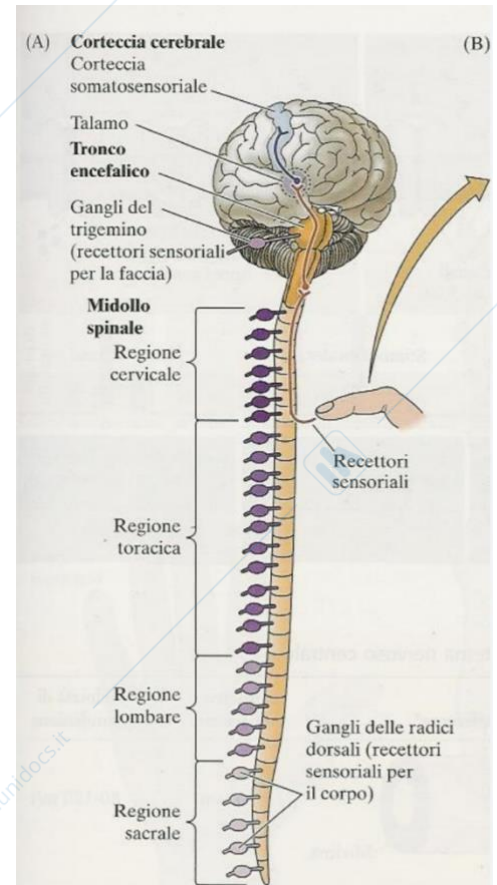
Quali sono i sensi?" Tatto, vista, olfatto, gusto, udito, equilibrio, propriocezione, dolore e termocezione. Sta diventando una sensazione studiata anche il prurito.

Il sistema somatosensoriale si divide in:

- **Esterocezione:** informazioni o sensazioni sensoriali provenienti dall'ambiente esterno (tatto temperatura e dolore).
- **Propriocezione:** veicola informazioni sulle posizioni dei segmenti corporei nello spazio.
- **Interocezione:** composta da tutti i segnali provenienti dai nostri organi che comprendono anche quelli attivanti i sistemi di retroazione per il controllo omeostatico dell'organismo (non arrivano a livello di coscienza). Nell'interocezione, con l'aiuto del sistema nervoso autonomo molte informazioni e interazioni con stimoli del nostro organismo si riequilibrano, mantengono l'omeostasi senza la nostra volontà (pressione arteriosa, respiro ecc).

Le afferenze somatosensoriali portano le informazioni dalla superficie cutanea a circuiti a livello centrale

(A): i corpi cellulari delle fibre afferenti somatiche che portano le informazioni riguardo al corpo sono posti in una serie di gangli delle radici dorsali ai lati del midollo spinale; i corpi cellulari che portano le informazioni riguardanti la testa sono poste principalmente nei gangli del trigemino.



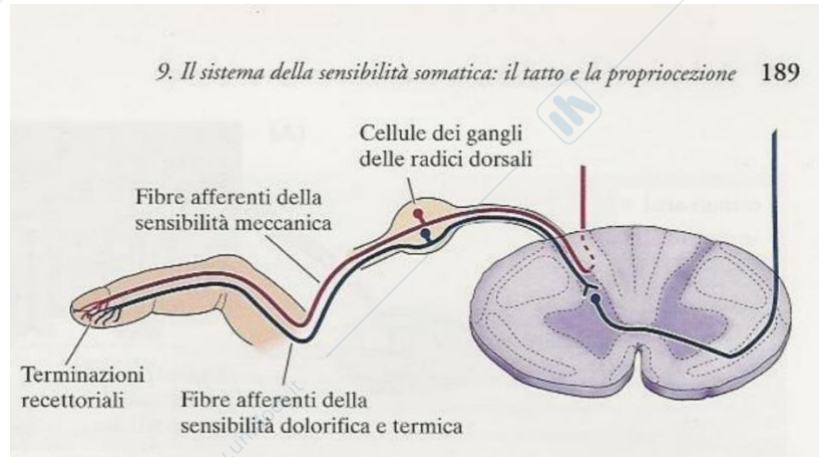
Ci occuperemo principalmente della sensibilità somatica, in particolare della temperatura dolore e propriocezione e tatto. Le informazioni arrivano da punti diversi dell'organismo, ma tutti convergono nella corteccia per diventare sensazione e per capire il collegamento e la complessità delle informazioni sensoriali basta pensare a una singola parola che ci può permettere di studiare una buona parte del nostro organismo (la posso sentire, o leggere); leggere una parola è diverso da sentire una parola e sia quando leggo che sento è importante anche comprenderla: se è scritta in una lingua che non conosco la posso leggere e sentire ma l'informazione si ferma lì.

Possiamo interagire con l'ambiente esterno solo con interazioni più complesse perché posso parlare ma se chi mi ascolta non riesce a capire la sua sensazione sarà ridotta, se con l'udito riesce a comprendere anche

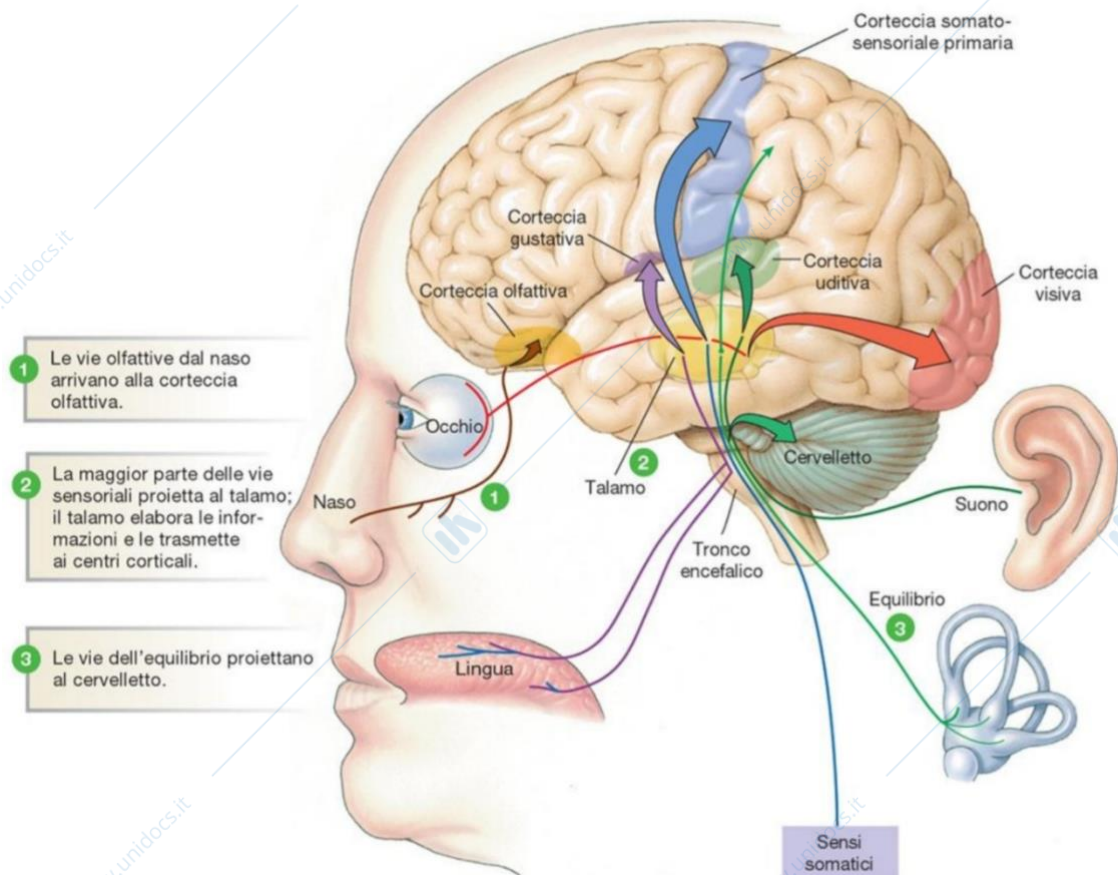
la parola, la risposta sarà elaborare delle parole per rispondere a ciò che ha sentito quindi sono percorsi abbastanza complessi.

Sensibilità somatica

Spesso si utilizza l'indice per esplorare l'ambiente, il tatto è il senso più semplice da provare ed è immediato. Se ho un'interazione sul polpastrello delle dita l'informazione deve arrivare fino alla corteccia somatosensoriale attraverso fibre nervose collegate da sinapsi in cui vedremo toccando la superficie avremo sia tatto (pressorio) ma anche uno termico e questi avranno due vie distinte per arrivare fino alla corteccia.



Le afferenze somatosensoriali portano le informazioni dalla superficie cutanea a circuiti a livello centrale (B): i neuroni pseudounipolari nelle radici gangliari dorsali danno origine a processi periferici che ramificano all'interno della pelle (o dei muscoli) e a processi centrali che formano sinapsi su neuroni localizzati nel midollo spinale e a livelli superiori del sistema nervoso. I processi periferici delle afferenze dei meccanocettori sono incapsulate in particolari cellule recetttrici; le afferenze che portano le informazioni riguardanti la sensibilità dolorifica e termica terminano come terminazioni libere.



RECETTORI SENSORIALI

Per parlare di sensazione dobbiamo definire i recettori sensoriali. Il recettore è una proteina transmembranaria che interagisce e recepisce qualcosa a livello di interazioni con ambiente interno o esterno.

→ *Il recettore sensoriale è una cellula specializzata o parte di essa che possiede la caratteristica di trasformare una forma di energia in un'altra, di operare cioè una trasduzione e fornire in questo modo informazioni sull'ambiente esterno o interno all'organismo.*

Nei recettori sono le proteine recettore, o proteine recettoriali o sensori o proteine trasduttrici del recettore che permettono di rilevare la presenza dello stimolo.

Recettori: cellule che esistono per fornire informazioni al sistema nervoso che riguardano l'individuazione la discriminazione di stimoli di natura diversa.

Sistemi input-output: stimoli diversi → segnale elettrico

Input: stimoli meccanici, chimici, termici, elettrici ecc.

Output: variazione del potenziale di membrana

Quindi abbiamo sistemi input-output/ingresso-uscita: interagiamo con stimoli (input) di natura totalmente diversa, pressioni, onde sonore, variazioni di temperatura, allungamenti o sviluppo di forza dei muscoli, sostanze chimiche di più nature. Quello che fa il trasduttore è trasformare tutte queste forme di energia in una variazione del potenziale di membrana.

Quindi l'output del trasduttore è una variazione di potenziale di membrana. L'output del nostro organismo sarà un movimento, un evento motorio a livello del trasduttore e quindi l'ingresso di una qualsiasi forma di energia si traduce in una variazione del potenziale di membrana.

Qualunque sia lo stimolo io ho una trasduzione dalla quale ottengo un potenziale di recettore.

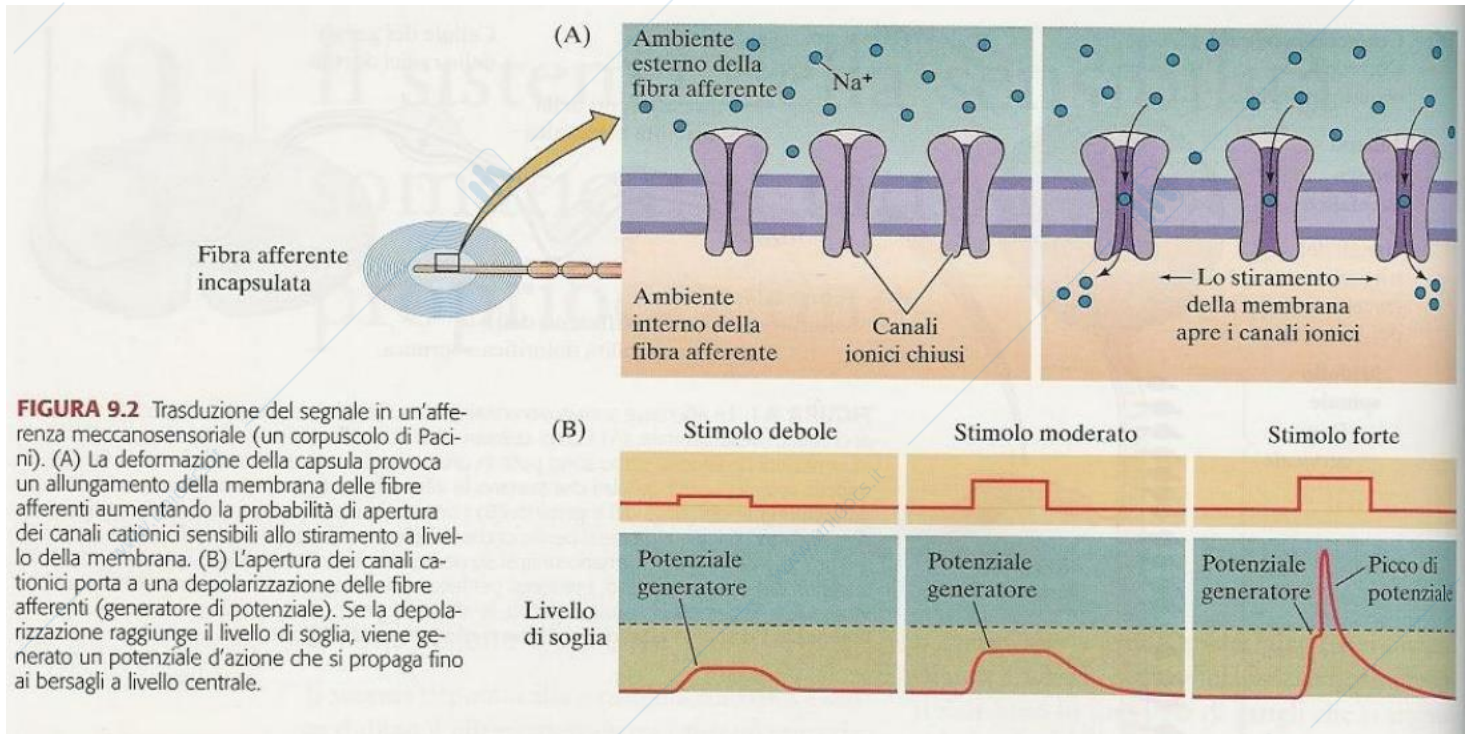
→ **trasduzione:** processo che rende possibile la risposta del recettore allo stimolo adeguato

→ **potenziale di recettore:** *potenziale locale o elettrotonico (sommazione spaziale e temporale, decadimento nel tempo e nello spazio..) prodotto da un flusso di corrente ionica transmembranaria. È una variazione del PdM dato dalla somma delle variazioni di potenziale dovute ai singoli canali che hanno interagito con lo stimolo.*

Quindi il potenziale recettoriale è un potenziale locale o elettrotonico prodotto da un flusso di corrente ionica transmembranaria, in cui possiamo avere sommazione spaziale e temporale: "la variazione di potenziale tende a tornare nello spazio e nel tempo verso lo zero". È una variazione del potenziale di membrana dato dalla somma delle variazioni di potenziale dovute ai singoli canali che hanno interagito con lo stimolo.

Quello che sto descrivendo come trasformazione di una qualunque forma di energia in una variazione di potenziale, ne ho già parlato nel potenziale di placca o post sinaptico; ho aggiunto che il recettore interagisce con uno stimolo *adeguato* perché ogni recettore, ogni nostra sensazione dipende dall'interazione di un determinato stimolo (forma di energia) con una sua specifica proteina recettoriale.

Trasduzione



La trasduzione sta a significare che la pressione che viene fatta sulla terminazione più periferica di una cellula nervosa porterà all'apertura meccanica dei canali e entreranno ioni sodio che porteranno alla formazione del potenziale generatore o potenziale recettoriale.

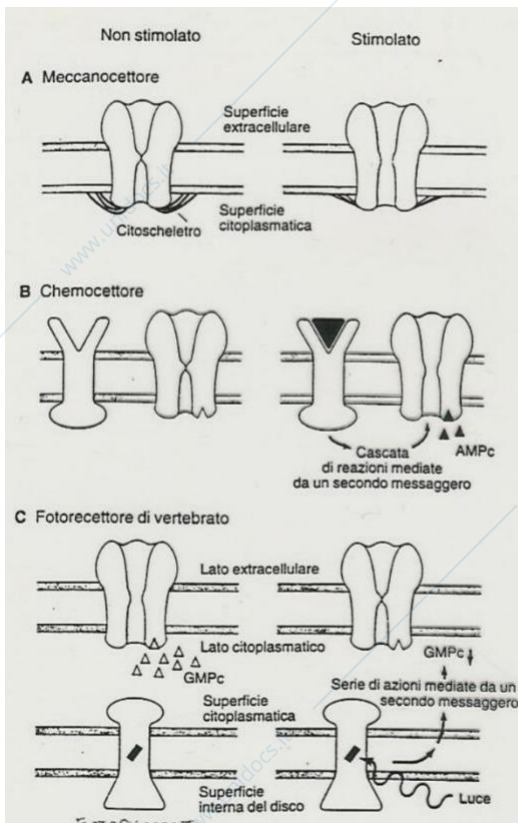


FIGURA 23-7

Meccanismi di trasduzione di forme diverse di energia dello stimolo in attività nervosa. (Modificata, da Shepherd, 1983).

A. La trasduzione mecano-elettrica viene effettuata mediante interazioni meccaniche dirette dello stimolo con i canali della membrana. Quando la membrana non è stimolata solo pochi canali sono aperti. La stimolazione meccanica deforma la membrana e provoca l'apertura dei canali. Il conseguente flusso di Na^+ e K^+ provoca la depolarizzazione locale della terminazione del recettore, generando così un potenziale di recettore.

B. La trasduzione chemo-elettrica è simile a quella mecano-elettrica, ad eccezione del fatto che l'apertura dei canali viene prodotta dall'interazione recettore-ligando. Un secondo messaggero media l'apertura dei canali dei recettori olfattivi e di alcuni tipi di recettori gustativi.

C. La trasduzione foto-elettrica si realizza a seguito dell'assorbimento della luce da parte dei fotorecettori. L'interazione fotone-fotopigmento a livello delle membrane intracellulari determina una modificazione della struttura tridimensionale del fotopigmento. Le successive modificazioni della permeabilità della membrana del recettore si realizzano, anche per questo tipo di recettori, per il tramite di un sistema di secondo messaggero.

Quindi lo stimolo adeguato mi porta all'apertura dei canali che permettono l'ingresso del sodio (primo passo della trasduzione). La trasduzione crea un potenziale recettoriale (potenziale locale).

Le proteine recettoriali che permettono questa variazione di potenziale sono proteine che vengono chiamate **meccanocettori**, se aperte da stimoli meccanici (stiramento, pressione).

Nei sensi chimici gusto e olfatto abbiamo l'apertura di un canale per mezzo di secondi messaggeri, l'interazione della molecola con una determinata proteina porta alla generazione di secondi messaggeri e poi all'apertura del canale.

La trasduzione porta un potenziale locale, questo vuol dire che se vado a vedere ho una depolarizzazione che si fermerebbe a livello del polpastrello. Ma per avere una sensazione l'informazione deve arrivare fino alla corteccia, quindi il passaggio sarà da potenziale locale ad un mezzo di comunicazione capace di autopropagarsi ossia un potenziale d'azione.

Per arrivare alla generazione del potenziale d'azione lo stimolo deve superare il livello soglia. Quindi questi discorsi sono i soliti del PdA, ho la sensazione di tatto quando ho una pressione per cui mi si apre un numero totale di canali per cui ho una depolarizzazione tale che dal fenomeno di trasduzione passo al fenomeno codificazione.

Il **potenziale recettoriale** è:

- Graduabile secondo l'intensità e la durata dello stimolo
- Non ha refrattarietà
- Non segue la legge del tutto o nulla, è potenziale locale.

C'è una relazione tra intensità dello stimolo e entità del potenziale: maggiore sarà la pressione o l'area interessata e più canali si apriranno con una conseguente risposta maggiore.

Quindi *la risposta cresce con l'aumentare dell'ampiezza dello stimolo fino ad un massimo (quando tutti i canali recettoriali sono interessati).*

Si definisce **stimolo soglia** lo *stimolo di intensità minima per essere percepito*.

Se non deformato di una certa entità la mia cute non ha generazione del potenziale recettoriale (anch'esso con una sua soglia), se aumento l'intensità poi il meccanismo successivo con il quale capisco cosa sta succedendo. La sensazione, e quindi la risposta, non si può avere solamente col potenziale recettoriale.

Lo **stimolo sotto-limare** non porta risposta.

➔ Si parla di stimoli adeguati o specifici e stimoli inadeguati o aspecifici.

Lo stimolo adeguato per sentire la termocizione è una variazione di temperatura. A livello del cavo orale i recettori sono molto sensibili, se metto in bocca un cubetto di ghiaccio ho una sensazione termica (stimolo adeguato).

Se introduco una caramella di menta in bocca che sensazione ho? Gusto e freddo. Il principio attivo del mentolo è lo stimolo non adeguato o inadeguato per i termocettori, la molecola del mentolo va a interagire nello stesso modo della variazione di temperatura, quindi è uno stimolo inadeguato che porta a una falsa sensazione perché in realtà la temperatura non diminuisce. Anche altre sostanze hanno effetti simili: ad esempio il peperoncino dà sensazione di calore e pizzicore, infatti la capsaicina interagisce coi recettori della temperatura e del dolore creando stimoli inadeguati.

La relazione tra stimolo e recettore è direttamente proporzionale: *maggiore è lo stimolo maggiore è la risposta.*

La funzione della sensazione dello stimolo è quella di farci interagire con l'ambiente esterno e farci capire che qualcosa sta cambiando nell'ambiente, per questo i nostri recettori hanno maggior sensibilità e sono più pronti nel range iniziale delle risposte (non importa che sappiate la relazione) ma aumentando l'intensità dello stimolo aumenta la risposta fino ad arrivare si arriva ad una saturazione.

Se l'interazione stimolo recettore mi è data dall'apertura di canali recettoriali che sono proteine, via via che aumenta l'intensità si aprono di più, fino ad arrivare ad un punto in cui i canali specifici per la pressione sono tutti aperti.

Quando sono tutti aperti se aumento la pressione non aumento il tatto, ma si passa da una sensazione di tatto a una di dolore, il dolore si attiva quando le altre sensazioni arrivano a saturazione.

Il fenomeno di **trasduzione** trasforma diverse forme di energia in un potenziale locale che però non riuscirebbe a far arrivare l'informazione dalla punta delle dita fino alla corteccia cerebrale quindi abbiamo il passaggio successivo che è la **codificazione**: ossia la trasformazione del potenziale recettoriale in una frequenza di potenziale d'azione, cioè in una risposta propagabile all'interno del sistema nervoso.

Una volta che tutti gli stimoli di diversa natura sono trasformati in una variazione di potenziale di membrana, avremo il passaggio in una frequenza di potenziali di azione.

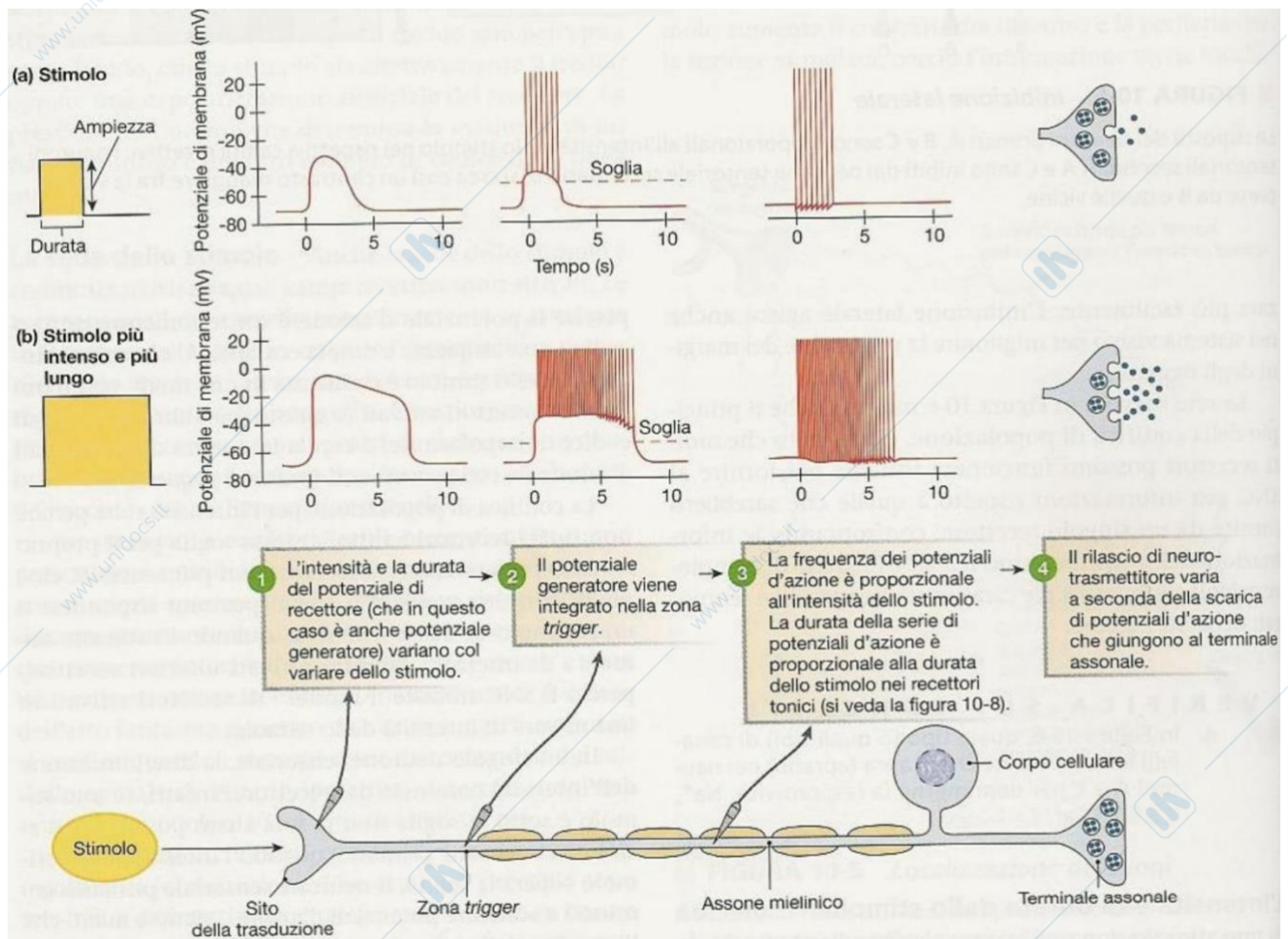
Quindi il potenziale recettoriale può avere diverse ampiezze ma, siccome il potenziale di azione ha una risposta tutto o nulla, l'intensità dello stimolo nella codificazione viene trasformata in una frequenza, in cui maggiore è l'intensità, maggiore è l'ampiezza del potenziale recettoriale e maggiore è la frequenza (cioè il numero di potenziali d'azione).

Parlando di potenziale di azione non posso parlare di variazioni di ampiezza ma di numero di potenziali nell'unità di tempo.

- ➔ *Lo stimolo sensoriale modula l'ampiezza del potenziale recettoriale, quindi l'ampiezza del potenziale recettoriale modula la frequenza dei potenziali di azione. Questo è alla base della sensazione.*
- ➔ **Codificazione:** *trasformazione del potenziale recettoriale in una frequenza di potenziali d'azione, cioè in una risposta propagabile all'interno del sistema nervoso. Segue la relazione intensità-risposta del PR.*
- ➔ **Codice nervoso:** *rappresentazione di intensità e durata dello stimolo sopra-soglia con la frequenza dei PdA e con la durata della scarica.*

Una volta che si è generata la frequenza di potenziale di azione l'informazione inizia ad autopropagarsi lungo la fibra afferente.

Considerate che la sensazione somatica presente nell'informazione del tatto ha la prima cellula nervosa in periferia (il polpastrello interagisce con uno stimolo come la pressione) fa la prima sinapsi a livello del bulbo del tronco encefalico e passa l'informazione a questo livello, mentre avrà codificazione sempre in periferia.



Codificazione di trasformazione dell'informazione in una cellula nervosa

Come esempio abbiamo una cellula nervosa classica della sensibilità somatica (cellula pseudounipolare a T) in questo caso parliamo di proprioccezione o di tatto in cui il corpo cellulare con il nucleo sarà a livello dei gangli delle radici dorsali che sono appena fuori il midollo spinale, avrà due assoni uno che entra nel sistema nervoso centrale che fa la prima sinapsi a livello del sistema nervoso centrale e il ramo periferico che viene dalla terminazione in cui ha interagito con lo stimolo (muscolo o cute).

Quindi lo stimolo, qualunque sia (nel caso del fuso è allungamento, nel caso di corpuscolo di Pacini è pressione) è indicato con un'onda quadra, ed a seconda della durata e dell'ampiezza si formerà un certo potenziale recettoriale che si genera nella periferia (dove qualunque recettore ha le terminazioni amieliniche), lo stimolo nel punto più periferico dove c'è l'interazione ho trasduzione, poi dove c'è maggiore concentrazione canali voltaggio dipendenti per il sodio avrò la codificazione, qui si genera il potenziale d'azione che noi abbiamo studiato con tutte le caratteristiche nella lezione apposita.

Quindi o a livello del primo nodo di Ranvier (quindi agli inizi) abbiamo la codificazione la generazione del potenziale di azione che si propaga e causa la liberazione del neurotrasmettitore. Perché l'aumentata intensità dello stimolo mi porta a risentire di più dello stimolo stesso? Perché maggiore è l'entità del potenziale recettoriale maggiore sarà la frequenza dei potenziali di azioni e una maggiore frequenza di potenziali di azione mi porta a una maggior librazione di neurotrasmettitore.

La relazione fra intensità e stimolo a cosa è dovuta? Se ho un'intensità di stimolo che mi porta a una frequenza di potenziali di azione e alla apertura di 3 vescicole di neurotrasmettitore a livello di sistema

nervoso centrale, con una frequenza più alta avrà la liberazione di 20 vescicole che contengono molecole di neurotrasmettitore, quindi una depolarizzazione molto più forte sulla cellula postsinaptica che mi porterà a sua volta di nuovo a una serie a una frequenza molto più alta e così via.”

Nelle sinapsi maggiore è la quantità di neurotrasmettitore maggiore sarà la possibilità che l'informazione vada avanti. Aumentando l'intensità dello stimolo ho maggiore liberazione del neurotrasmettitore quindi l'info passerà in maniera più forte.

Uno stimolo più intenso provoca un potenziale di recettore di maggiore ampiezza, per cui il tempo impiegato dal neurone per arrivare alla soglia si riduce, per questo nell'unità di tempo si generano un maggior numero di potenziali di azione. Quindi più è rapido più è grande questa variazione abbiamo una rapida variazione e una frequenza di potenziali di azione.

Come all'aumentare dell'intensità si aprono tutti i recettori e si ha una saturazione, così c'è un limite sulla frequenza di potenziali di azione. I potenziali di azione hanno come limite il periodo refrattario, più di un certo numero di potenziali di azione non è possibile averne, quindi ho la stessa relazione intensità potenziale recettoriale ed intensità potenziale di azione, ecco perché si arriva a una saturazione delle nostre sensazioni e stimoli troppo elevati portano a interagire con canali diversi come quelli del dolore.

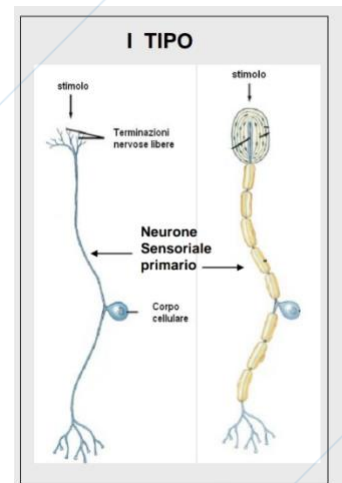
Organizzazione strutturale di recettori

Una classificazione funzionale dei recettori si basa su dove avvengono i due eventi principali: trasduzione e la codificazione. È quindi una classificazione basata sui rapporti dei recettori con le altre catene neuroniche implicate nel trasportare i segnali ai centri superiori.

- **Recettori di primo tipo**

Terminazioni nervose semplici o differenziate che hanno i loro corpi cellulari nei gangli spinali o cerebrali. La membrana che riveste l'estremità del prolungamento periferico possiede la capacità di trasformare in fenomeni bioelettrici (potenziale generatore) gli stimoli fisici o chimici ai quali è sensibile. Sulla I cellula della via afferente si ha trasduzione e codificazione. Sono capaci di generare potenziale di azione (recettori tattili, mucosi, muscolari, tendinei ed olfattivi). I recettori olfattivi sono di primo tipo anche se sono costituiti da cellule sensoriali e non soltanto da terminazioni nervose, infatti il loro prolungamento centripeto penetra nel bulbo olfattivo dove contrae sinapsi con un neurone di II ordine.

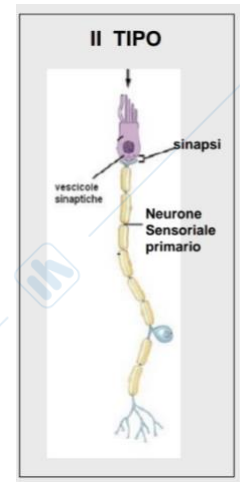
Ricapitolando: intendendo quelle cellule recettoriali in cui trasduzione e codificazione avvengono sulla prima cellula, sulla cellula che interagisce direttamente con lo stimolo. Sono la stragrande maggioranza dei recettori infatti comprendono tutte le sensazioni somatiche (tatto temperatura dolore propriocizione). Sono recettori del primo tipo anche i recettori olfattivi che hanno la caratteristica di avere cellule pseudounipolari a T che possono essere mieliniche o amieliniche e vedremo anche strutturate in maniera particolare. Si chiamano recettori di primo tipo perché nella cellula che recepisce lo stimolo abbiamo sia potenziale recettoriale che la generazione della frequenza di potenziale di azione.



- **Recettori di secondo tipo**

Cellule neuroepiteliali che si mettono in rapporto sinaptico con l'espansione terminale del neurone sensitivo e l'attivazione della fibra diretta al sistema nervoso centrale è mediata da neurotrasmettitori. Il potenziale d'azione si genera nelle II cellule della via afferente. (cellule ciliate del labirinto, cellule gustative).

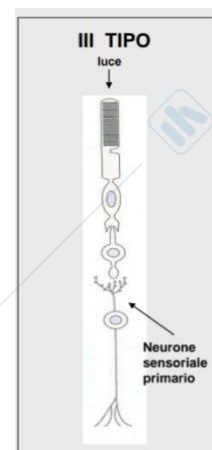
Ricapitolando: in una cellula di piccole dimensioni ("cellula nervosa modificata") interagisce con lo stimolo. Si trovano ad esempio le cellule ciliate che si trovano nell'orecchio interno sia per equilibrio che per udito, cellule gustative. Si chiamano di secondo tipo perché in questa prima cellula di piccole dimensioni avviene la trasduzione (quindi soltanto una depolarizzazione), questa depolarizzazione mi porta rilascio di un neurotrasmettitore e la generazione del potenziali di azione avviene sulla seconda cellula che è la prima cellula nervosa vera e propria. Quindi abbiamo una cellula piccola che interagisce con lo stimolo che ha sinapsi con una cellula pseudounipolare e su questa ultima cellula si genererà la frequenza di potenziali di azione quindi si parla di secondo tipo, sono piccole le prime cellule dotate di particolari strutture.



- **Recettori di terzo tipo**

La trasmissione dell'impulso avviene almeno attraverso 2 neuroni, le cellule bipolari e gangliari dell'occhio. In questo caso, cioè c'è l'interposizione di un terzo elemento (interneurone) tra la cellula recettrice e l'espansione terminale del neurone sensitivo primario. Il potenziale d'azione si genera nella III cellula della via afferente.

Ricapitolando: recettori in cui avviene interazione con lo stimolo a livello della prima cellula, passaggio delle informazioni solo per correnti elettrotoniche dalla prima alla seconda e generazione della frequenza di potenziale di azione sulla terza cellula della via. Questi recettori di terzo tipo sono soltanto i recettori dell'occhio.



Sono recettori in cui l'interazione stimolo recettore avviene nella prima cellula (trasduzione) poi semplicemente per correnti passive abbiamo variazione di potenziale nella seconda e solo nella terza si ha la generazione di potenziale di azione e sono soltanto i coni e i bastoncelli.

L'occhio è una delle strutture più complesse che abbiamo, è l'unico recettore in cui l'interazione coi fotoni porta non a una depolarizzazione (come abbiamo visto fino ad ora) ma a una iperpolarizzazione quindi lo mettiamo da una parte.

Tutti i corpi cellulari dei neuroni sensoriali primari sono nei gangli delle radici dorsali di un nervo spinale o craniale. Ciò vuol dire che il corpo cellulare dei neuroni della sensibilità somatica è appena fuori il midollo spinale, poi entrerà all'interno del midollo e porterà informazioni svolgendo compiti diversi. Qualsiasi cosa succede in periferia, quando arriva nel sistema nervoso centrale è solo una frequenza di potenziali di azione.

Adattamento nei recettori sensoriali

Lo stimolo può essere breve o lungo, in una stimolazione prolungata si parla di **adattamento**.

L'adattamento dei recettori sensoriali è la risposta del recettore ad uno stimolo prolungato nel tempo, tutti i recettori hanno adattamento, per parlare di adattamento ho bisogno di uno stimolo prolungato nel tempo.

- **Recettori tonici**

Se lo stimolo dura 7 secondi e il recettore (ogni linea rappresenta un potenziale di azione) se il recettore continua a stimolare per tutta la durata è un recettore tonico. Esempio classico sono recettori per il dolore, è sensazione che se ho una infiammazione il dolore lo sento sempre.

- **Recettore fasico on**

Il recettore fasico on è un recettore che anche se prolunga lo stimolo mi segnala soltanto la modificazione della situazione, che poi è il compito più importante.

- **Recettore fasico off**

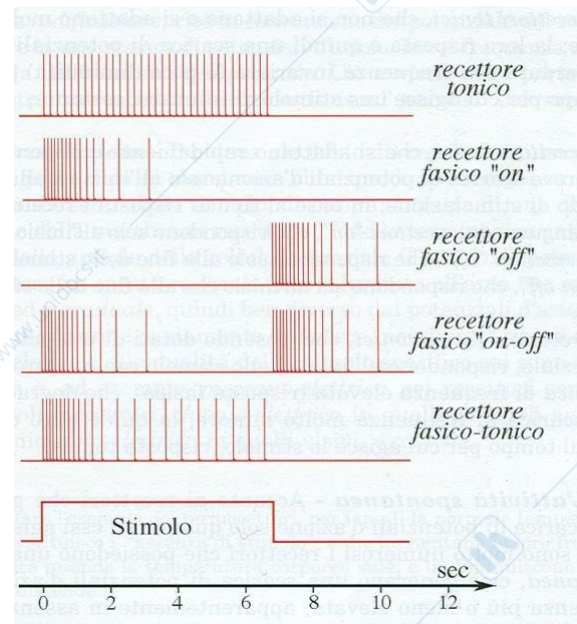
Il recettore fasico off è un recettore che scarica quando lo stimolo cessa come recettori dell'occhio che fanno sempre a modo loro.

- **Recettori fasici on-off**

Recettori fasici on-off sono recettori che scaricano quando si modifica la situazione, successivamente se lo stimolo continua smettono di scaricare e poi ricaricano quando viene cessa la stimolazione.

- **Recettore fasico-tonico**

Recettore **fasico-tonico** è un recettore in cui si segnala principalmente l'interazione con lo stimolo poi poi si tende a diminuire questa info .



Quello che succede a livello periferico non è esattamente quello che poi arriva come informazione a livello cerebrale però è abbastanza vicino per cui posso già far capire cosa è l'adattamento. Posso fare un esempio con cosa succede con le vostre sensazioni: quando vi siete messi a sedere vi siete messi a sedere avete avuto una sensazione di tatto avete capito che stavate su una superficie poi dovrete stare fermi e seguire la lezione e quei recettori non continuano a darvi quella sensazione, avete avuto una modificazione sulle parti posteriori e avete lo stimolo pressorio, poi non lo sentite più, quando vi alzate lo stimolo torna. Questo è di tipo fasico on-off. Se ci vestiamo la mattina sentiamo che ci siamo messi qualcosa addosso, almeno che con il movimento non provochi nuove stimolazioni non lo sento.

Invece se ho un dolore o infiammazione lo stimolo c'è e continuo a sentire dolore.

Esempio con l'olfatto: se uno entrasse in questa stanza avrebbe una risposta olfattiva notevole, siamo in tanti da due ore. Noi siamo qui da tempo non sentiamo più odore umano nella stanza, lo stesso in ascensore se la persona ha fumato; "ci si fa naso".

Altra classificazione dei recettori

- **Recettori nervosi (I tipo)**

Costituiti dalla terminazione periferica di una fibra nervosa afferente che, persi i manicotti di mielina, può formare numerose espansioni o avvolgimenti di diverso tipo, costituendo a volte dei veri e propri corpuscoli sensitivi o restando una semplice terminazione nervosa.

- **Recettori con cellule sensoriali (II e III tipo)**

Sono più complessi. Le terminazioni della fibra nervosa afferente prendono contatto sinaptico (cito-neurale) con cellule molto differenziate, cioè con cellule sensoriali, che non sono di natura nervosa ma sono eccitabili e sensibili a stimoli specifici, spesso hanno particolari apparati (ad esempio ciglia). Sono cellule bipolari: il polo esterno interagisce con lo stimolo; il polo interno o basale, stabilisce il contatto sinaptico con la fibra nervosa.

Classificazione storica di Sherrington

Si basa sulla posizione dello stimolo

- **Esterocettori**

captano e interagiscono con stimoli provenienti dall'esterno.

- Telecettori: raccolgono forme di energia che provengono da lontano (vista uditiva e olfatto).
- Propriocettori: influenzati da stimoli che si originano vicino al corpo (dolorifici tattili termici).

- **Endocettori**

Stimoli da strutture interne all'organismo:

- Enterocettori: che sono codificati da agenti che nascono dentro il nostro organismo, si trovano nei diversi apparati.
- Propriocettori attivati da stimoli provenienti dall'interno ma che sono connessi con la posizione del corpo e delle sue parti nello spazio (fuso neuromuscolare, recettori del labirinto vestibolare)

Classificazione sulla natura dello stimolo o alla specificità della risposta

- **Meccanocettori**

Rispondono a stimoli fisici di natura meccanica (recettori tattili, acustici e fusi neuromuscolari).

- **Termocettori**

Sensibili alle variazioni di temperatura. Si dividono in:

- Calocettori: risentono degli aumenti di temperatura

- Frigocettori: rispondono alla diminuzione della temperatura.
- **Chemiocettori**
Sono influenzati da agenti chimici (recettori olfattivi, gustativi, aortici).
- **Nocicettori o algocettori**
Recepiscono gli stimoli dolorosi. Si dividono in:
 - Superficiali: nella cute.
 - Profondi: negli organi interni.
- **Fotocettori**
Nell'uomo sono sensibili a lunghezze d'onda della luce comprese tra 760 e 390 nm. Si trovano nella retina: coni e bastoncelli.
- **Osmocettori**
Deputati a raccogliere modificazioni della pressione osmotica dei liquidi dell'organismo (recettori ipotalamici). Se lo stimolo adeguato è una variazione della pressione osmotica.

CLASSIFICAZIONE FIBRE NERVOSE

Abbiamo visto l'interazione stimolo recettore in periferia, poi deve essere generato un potenziale di azione che si deve propagare lungo la fibra e la propagazione del potenziale di azione ha una velocità diversa a seconda della fibra attraverso la quale si propaga; quindi parlando di sensazione ma anche di sistema motorio si fa una classificazione delle fibre nervose.

Classificazione delle fibre nervose secondo Erlanger e Gasser

Ve la mostro come tabella, non facciamo tutti i passaggi ma vi ricordo che è importante da sapere il tipo di fibra nervosa perché ci sono tante patologie che sono correlate a patologie delle fibre afferenti o efferenti. Se la fibra che conduce le informazioni non riesce a svolgere il suo compito l'input non diventa sensazione e non discendendo non diventa movimento, fanno parte del sistema nervoso hanno una loro evoluzione insieme all'individuo.

Quella secondo Erlanger e Gasser comprende tutte le fibre nervose, sia quelle afferenti dalla periferia al centro, sia efferenti dal centro alla periferia, sia del sistema nervoso somatico, sia autonomo, (come ci è arrivato non importa); il concetto alla base è sempre che la generazione del potenziale di azione è più veloce nelle fibre mieliniche e dipende dal diametro. Vengono usate lettere maiuscole e lettere alfabeto greco; le dovete sapere.

Fibre A

- **A alpha:** fibre afferenti primarie dei fusi muscolari e fibre motorie per muscoli scheletrici (motoneuroni alpha) diametro medio di 15 micron e velocità media di 100 m/s sono le fibre più veloci del nostro organismo nella generazione e conduzione.
- **Abeta:** fibre afferenti cutanee per tatto e pressione diametro intorno a 8 micron velocità 50m/s.
- **Agamma:** motoneuroni che ritroveremo nei fusi neuromuscolari 5 micron e una velocità 20 metri al secondo.
- **Adelta** fibre afferenti cutanee per temperatura (freddo) e per dolore (rapido).

Fibre B

Fibre pregangliari del sistema simpatico con diametro 3 e velocità intorno ai 7 metri al secondo.

Fibre C

Fibre amieliniche afferenti cutanee per dolore (lento) per temperatura(caldo) e sono anche post gangliari simpatiche, 1 micron e una velocità di circa 100 volte inferiore alle fibre amieliniche di grande diametro, le velocità che si misurano con strumentazioni apposite.

Tipo di fibra	Funzione, p. es.	Diametro medio della fibra	Velocità media di conduzione
A α	Fibre afferenti primarie dei fusi muscolari, motorie per i muscoli scheletrici	15 μm	100 m/s (70-120 m/s)
A β	Fibre afferenti cutanee per il tatto e per la pressione	8 μm	50 m/s (30-70 m/s)
A γ	Fibre motorie per i fusi muscolari	5 μm	20 m/s (15-30 m/s)
A δ	Fibre afferenti cutanee per la temperatura e per il dolore	< 3 μm	15 m/s (12-30 m/s)
B	Fibre pregangliari simpatiche	3 μm	7 m/s (3-15 m/s)
C	Fibre afferenti cutanee per il dolore, postgangliari simpatiche	1 μm amieliniche!	1 m/s (0.5-2 m/s)

Classificazione che riguarda le fibre della sensibilità somatica secondo Lloyd e Hunt

Solo fibre afferenti molto utilizzata, utilizza numeri romani ma classifica le stesse fibre che si è visto prima comprende il gruppo:

Fibre I:

Comprende fibre afferenti primarie dai fusi muscolari e afferenti dagli organi muscolotendinei di golgi suddivise in:

- **Ia:** terminazioni primarie del fuso neuromuscolare

- **Ib:** terminazioni degli organi muscolotendinei di golgi

Fibre II

Meccanocettori della cute tatto, diametro 8-9 micron e lo stesso una velocità di 50 poi abbiamo fibre, equivalenti del Abeta. Sono terminazioni secondarie del FN, corpuscolo del Pacini, di Ruffini, Merkel e Meissner.

Fibre III


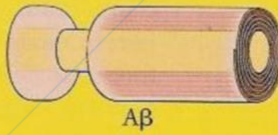
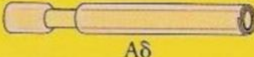
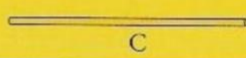
Sensibilità profonda alla pressione del muscolo e sensibilità termica dolorifica del muscolo che sono gli equivalenti delle Adelta.

Fibre IV:

Amieliniche dolorifiche (lento dolore) termocezione (caldo).

Gruppi	Funzione, p. es.	Diametro medio della fibra	Velocità media di conduzione
I	Fibre afferenti primarie dei fusi muscolari ed afferenti di organi tendinei	13 μm	75 m/s (70-120 m/s)
II	Meccanorecettori della cute	9 μm	55 m/s (25-70 m/s)
III	Sensibilità profonda alla pressione del muscolo	3 μm	11 m/s (10-25 m/s)
IV	Fibre dolorifiche amieliniche	1 μm	1 m/s

TABELLA 9.1 Afferenze somatosensoriali che collegano i recettori al sistema nervoso centrale

Funzione sensoriale	Tipo di recettore	Tipo di assone afferente ^a	Diametro dell'assone	Velocità di conduzione
Propriocezione	Fuso neuromuscolare	 Ia, II	13-20 μm	80-120 m/s
Tatto	Corpuscoli di Merkel, Meissner, Pacini e Ruffini	 A β	6-12 μm	35-75 m/s
Dolore, temperatura	Terminazione nervosa libera	 A δ	1-5 μm	5-30 m/s
Dolore, temperatura, solletico	Terminazione nervosa libera	 C	0,2-1,5 μm	0,5-2 m/s

^a Negli anni 1920-1930 la classificazione degli assoni secondo la loro velocità di conduzione degli stimoli nervosi sembrava quasi una piccola ma fiorente attività industriale. Vennero distinte tre categorie, chiamate A, B e C. La classe A comprende gli assoni più grandi e più veloci, la classe C, quelli più piccoli e più lenti. Gli assoni dei meccanorecettori appartengono di solito alla categoria A. La classe A è ulteriormente suddivisa in sottoclassi definite come α (la più veloce), β e δ (la più lenta). Per complicare ulteriormente questo quadro, gli assoni afferenti dei muscoli sono classificati comunemente attraverso quattro ulteriori gruppi, I (più veloce), II, III e IV (più lento), divisi a loro volta in sottogruppi denominati con lettere romane minuscole.

Fonte: Roscnzweig et al., 2005.