

Il sistema sensoriale



Le sensazioni vengono trasmesse a livello corticale dai nervi afferenti attraverso il **tronco encefalico** e il **talamo**.

Il **nervo olfattivo** rappresenta l'eccezione, dato che le afferenze trasmettono direttamente al cervello.

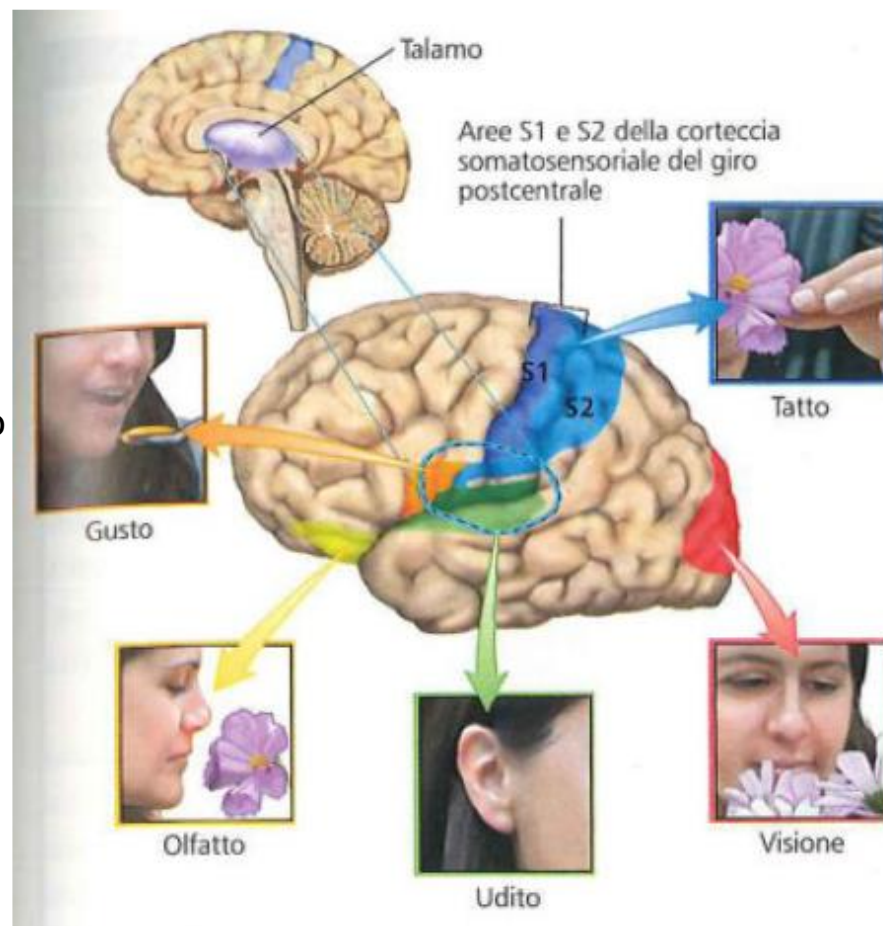
Caratteristiche dei sistemi sensoriali:

Gamma di stimoli: La codifica delle sensazioni avviene attraverso **cellule recettoriali**. Questi recettori definiscono il **range** e i **limiti della nostra percezione del mondo**.

Adattamento: consiste nella regolazione della sensibilità del sistema sensoriale all'ambiente. Più lo stimolo perdura e meno frequenti saranno i potenziali d'azione dei recettori deputati alla codifica di tale stimolo.

Acuità: E' il **grado di efficienza** nel distinguere tra stimoli entro una stessa modalità. Dipende **i)** dal modo in cui è stato anatomicamente progettato il sistema sensoriale; **ii)** dalla distribuzione dei recettori.

Una panoramica generale



Che cos'è un recettore?

Il recettore media il contatto con il mondo esterno. Esso rappresenta **la prima cellula di ciascuna via sensoriale.**

Quindi, ogni recettore traduce un certo tipo di energia (meccanica, chimica, termica) in energia elettrica.

Il segnale elettrico del recettore viene definito **potenziale di recettore.**

Caratteristiche di base del recettore

Specificità:

Ciascun recettore viene attivato da una specifica tipologia di stimolazione.

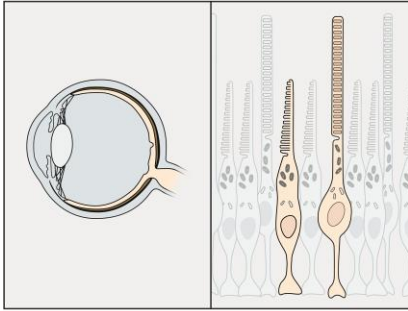
Trasduzione:

Trasforma l'energia dello stimolo in energia elettrica. Il processo avviene tramite **depolarizzazione** della membrana del recettore.

Velocità di adattamento:

Codificate da variazioni della frequenza di scarica dei neuroni sensoriali.

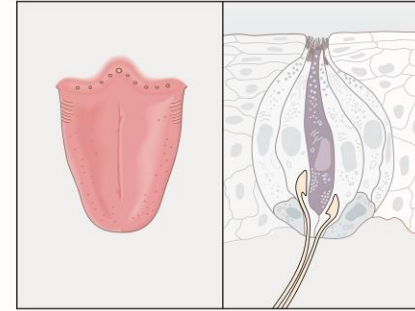
Visione



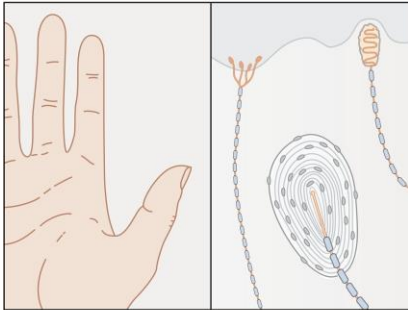
Olfatto



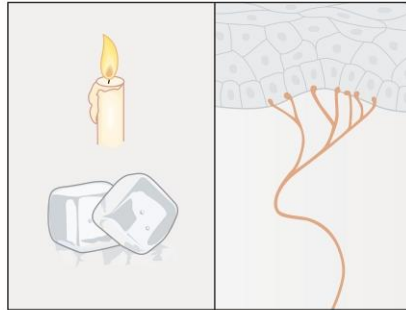
Gusto



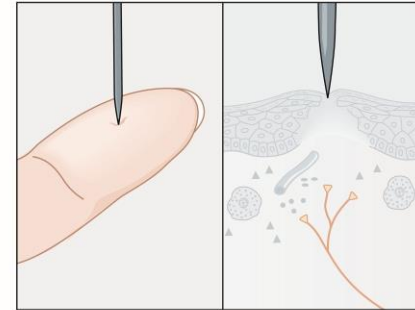
Tatto



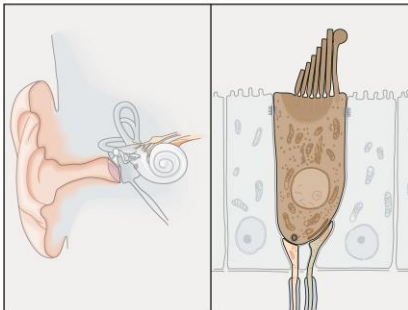
Sensi termici



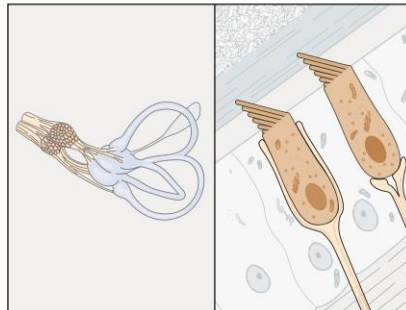
Dolore



Udito



Senso dell'equilibrio



Propriocezione

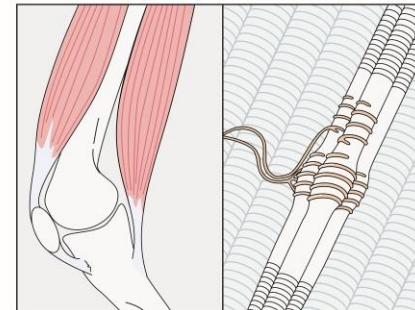
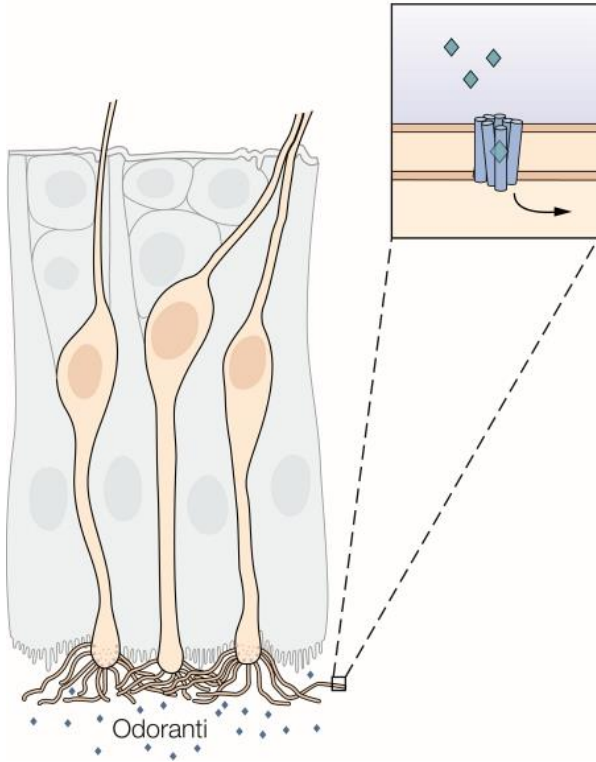
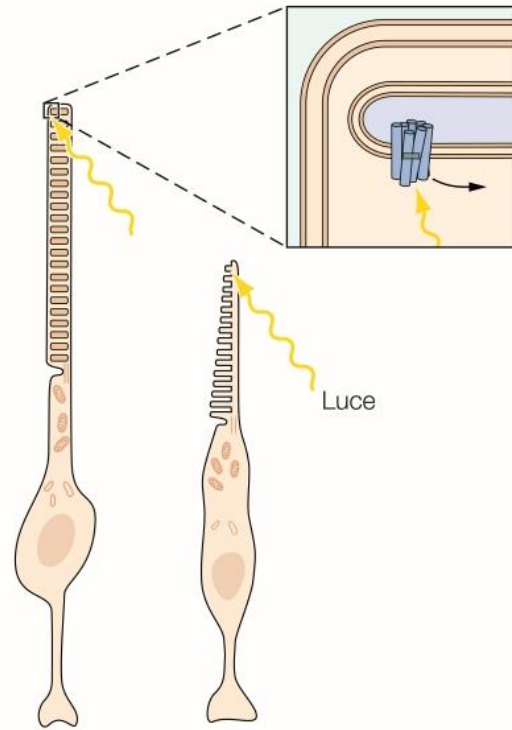


Figura 21-1 Le principali modalità sensoriali dell'Uomo sono mediate da classi distinte di neuroni che fungono da recettori localizzati in organi di senso specifici.

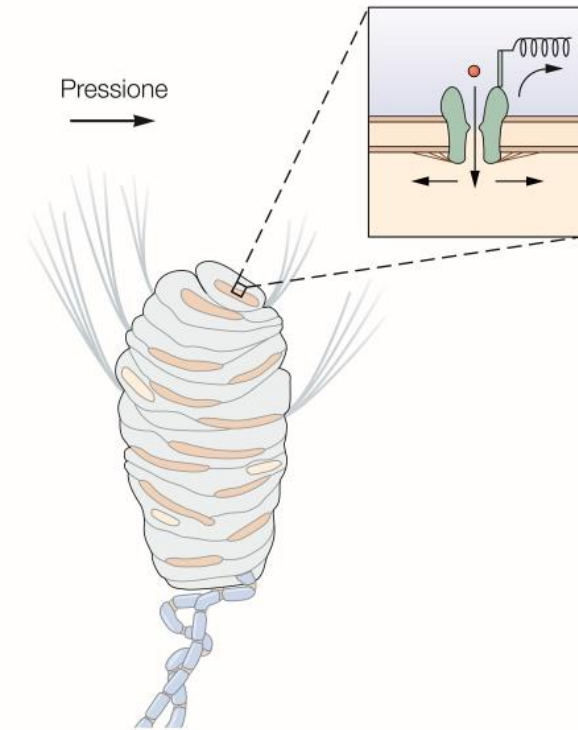
A Chemocettore



B Fotorecettore



C Meccanocettore



I recettori sensoriali sono formazioni specializzate per la trasduzione di un particolare tipo di energia dello stimolo in segnali elettrici.

Quattro tipi di attributi analizzati dai neuroni sensoriali

- **La modalità:** declinata nelle varie tipologie di esperienza sensoriale.
- **La sede:** rappresentata dall'insieme dei recettori di un sistema sensoriale che risultano attivati.
- **L'intensità:** definita dall'ampiezza della risposta di ogni recettore.
- **Il decorso temporale:** definito dall'inizio e dalla fine della risposta del recettore.

Decorso temporale: Lento vs. rapido adattamento

Lento adattamento:

Se rispondono a stimoli prolungati e costanti.

Rapido adattamento

Se smettono di scaricare in risposta ad una stimolazione d'intensità costante.

Sensi somatici

Sono quelli che si trovano distribuiti su tutto il corpo. Sono associati ai visceri, alla pelle, ai muscoli e alle articolazioni. Essi includono:

- **Tatto**
- **Propriocezione**
- **Temperatura**
- **Interocezione**
- **Dolore**

Modalità sensoriale	Tipo di energia	Recettore	Localizzazione	Adattamento
Sensibilità tattile	Meccanica	Meccanocettori	Cute superficiale o profonda Cute glabra o con peli	Rapido e lento
Propriocezione	Meccanica	Meccanocettori	Muscoli scheletrici Tendini Capsule articolari	Rapido e lento
Termocezione	Termica	Termocettori	Cute superficiale	Rapido
Nocicezione	Meccanica termica e chimica	Nocicettori meccanici, termici, chimici, polimodali	Cute superficiale	Non si adattano

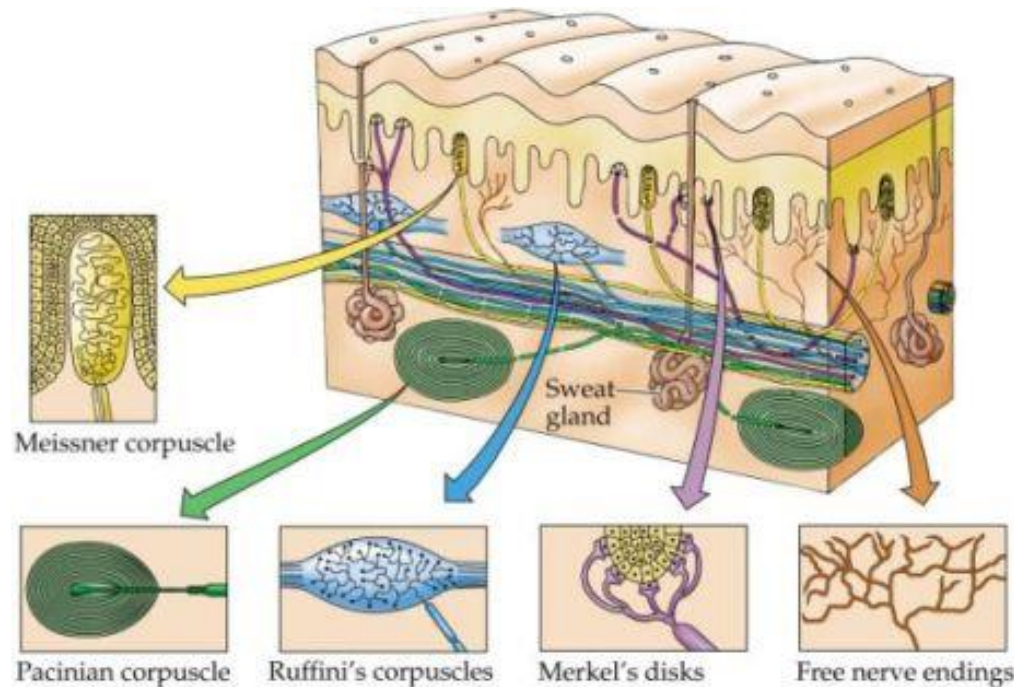
Velocità di conduzione

Fibre nervose afferenti che hanno caratteristiche differenti che si riflettono sulla velocità di trasmissione del segnale

	μm	m/sec	
Aα <i>mielina</i>	20-13	80-120	Propiocettori
Aβ (grandi, mielina)	12-6	35-75	Meccanocettori cutanei (tatto)
Aδ (piccole, mielina)	5-1	5-30	Dolore Temperatura
C (piccole, no mielina)	0,2-1,5	0,5-2	Dolore Temperatura Prurito

Due tipi di terminazioni dei neuroni che mediano il tatto

- **Terminazioni nervose incapsulate da strutture non nervose:** mediano il tatto e la propriocezione.
- **Terminazioni nervose libere:** mediano sensazioni dolorifiche e termiche



Sensazioni epicritiche

Le sensazioni **epicritiche** concernono gli **aspetti fini del tatto** e sono mediate dai recettori incapsulati.

- rilevazione di leggeri contatti
- stimoli vibratorii
- analisi dei dettagli spaziali e della superficie dell'oggetto
- riconoscimento della forma (**stereognosia**)

Sensazioni protopatiche

Sono mediate dai recettori con **terminazioni nervose libere**.

Comprendono:

- il dolore e la sensibilità termica
- prurito e solletico.

Classificazione dei meccanocettori

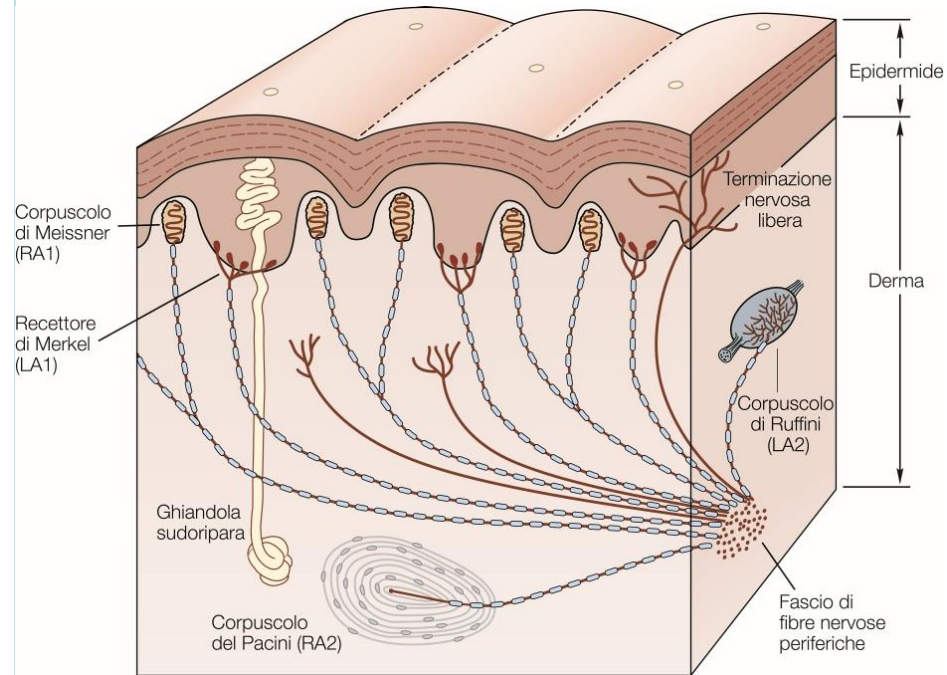
Epidermide:

- **Corpuscoli di Meissner:** a **rapido** adattamento. Codifica **strofinamento** e **vibrazione**.
- **I dischi di Merkel:** a **lento** adattamento. Rispondono a **pressione**.
- **Terminazioni nervose libere:** rispondono alla stimolazione tattile superficiale rilevando il **solletico**, il **prurito**, **dolore**

Derma:

Corpuscoli del Pacini: a **rapido** adattamento, in grado di rilevare stimoli **vibratori**.

Corpuscoli di Ruffini: a **lento** adattamento. Sensibile alla **deformazione della cute**.



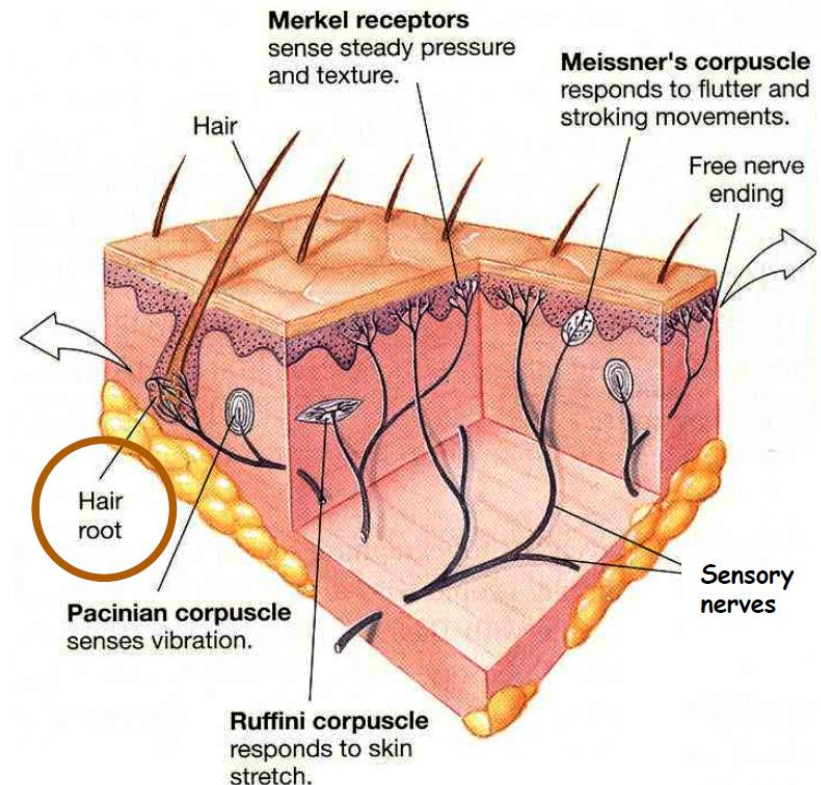
Recettore del follicolo pilifero

(organi terminali piliferi)

Terminazioni nervose libere avvolte alla base dei singoli peli.

Situati più in profondità rispondono a stimolazioni tattili superficiali perché sensibili al movimento dei peli

Risposte fasiche : il recettore segnala la variazione dell'assetto del pelo e non il mantenimento del nuovo assetto raggiunto

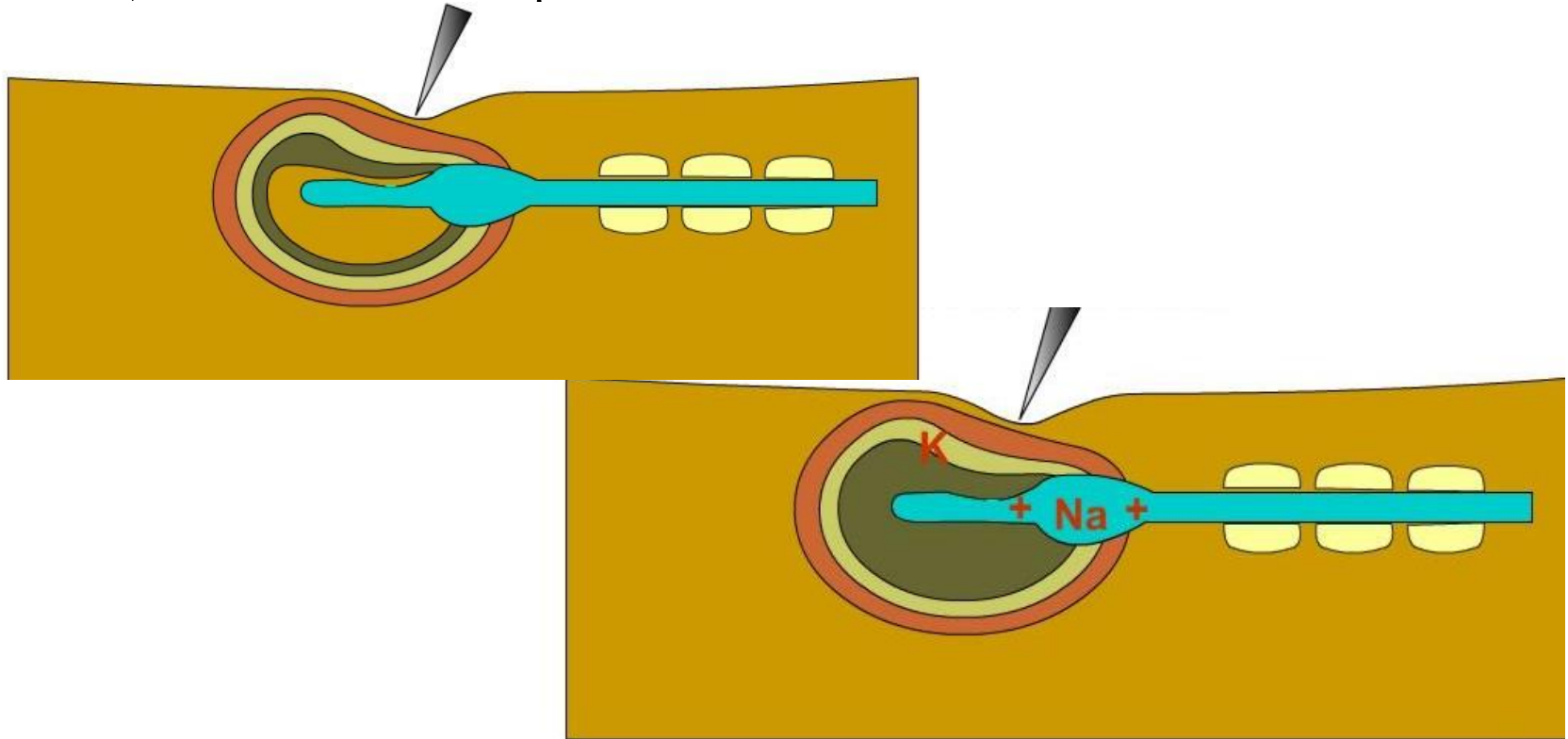


Come viene trasformata l'energia meccanica in energia elettrica dai recettori tattili?

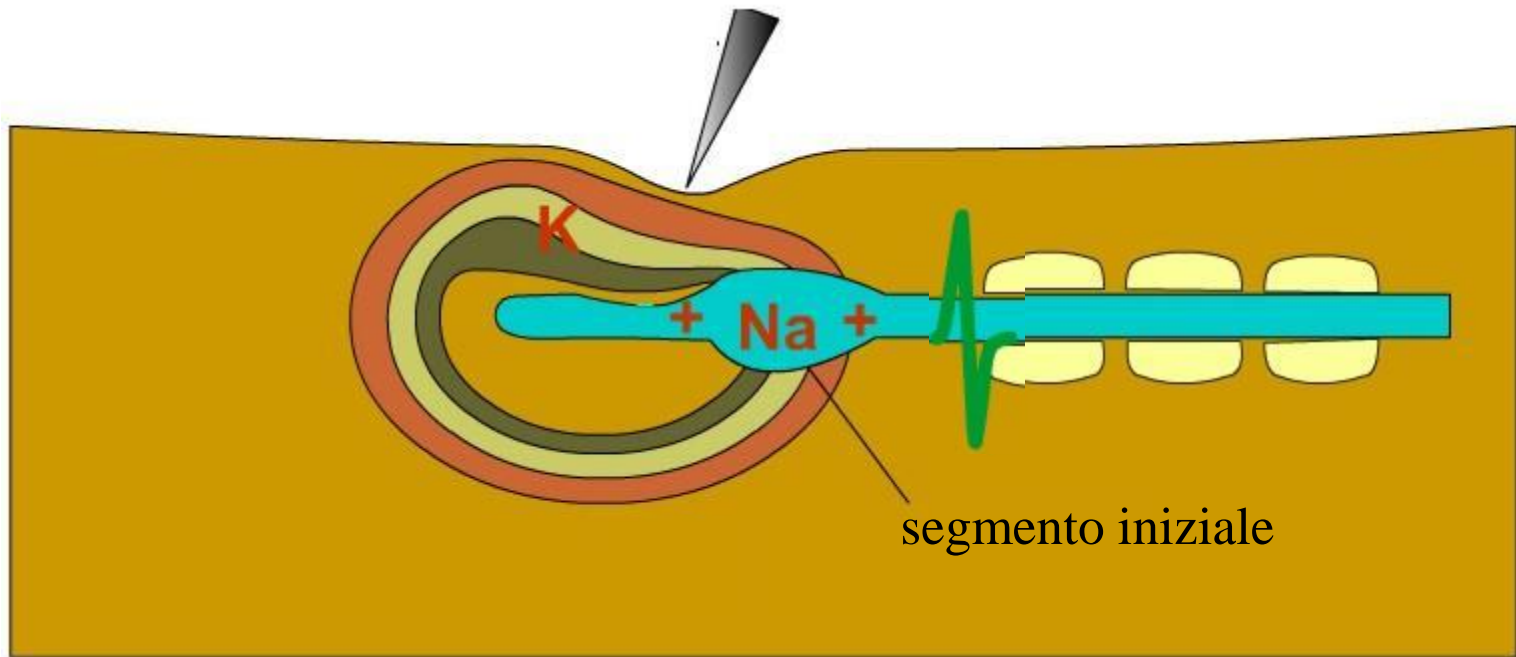
Prendiamo come esempio un *corpuscolo di Pacini*

1^a fase: lo stimolo meccanico (uno stimolo vibratorio) deforma la membrana del corpuscolo

2^a fase: Quando il corpuscolo è inclinato verso l'assone si aprono i canali cationici, il Na^+ entra e si depolarizza il recettore



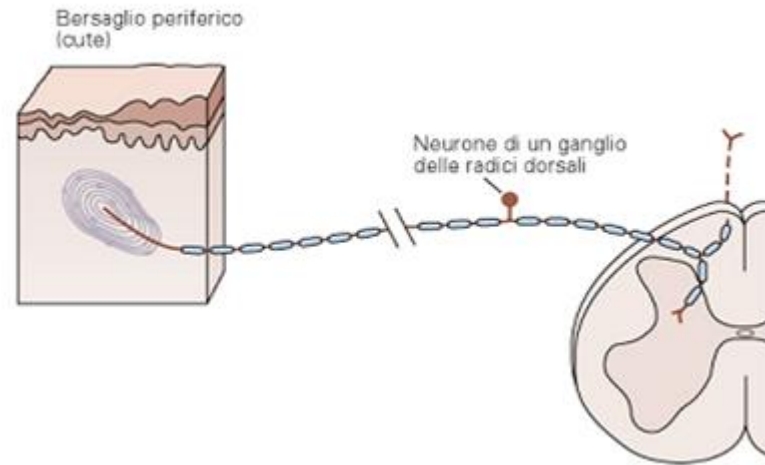
3^a fase: se il potenziale del recettore generato nel segmento iniziale è sopra soglia, vengono generati dei potenziali d'azione che si propagano lungo l'assone



Connessione recettore/ganglio delle radici dorsali

Un neurone dei gangli delle radici dorsali solitamente riceve **afferenze** da **10-25** corpuscoli di **Meisner** o dischi di **Merkel**.

Ogni fibra nervosa che termina negli strati profondi della cute innerverà un **unico** corpuscolo di **Pacini** o di **Ruffini**

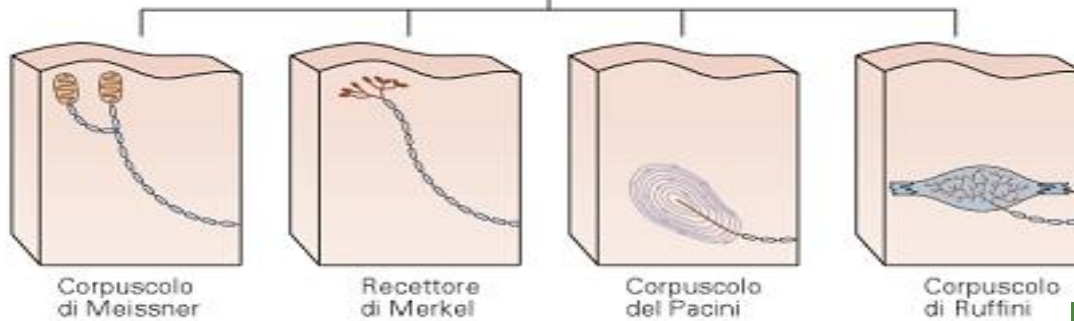


Risoluzione spaziale e decorso temporale dei recettori del tatto

A Modalità

Tatto

Recettori



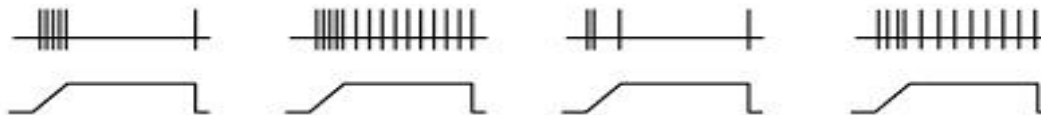
B Sede

Campo recettivo



C Intensità e decorso temporale

Treno di potenziali d'azione
Stimolo



Dimensioni del campo recettivo

piccolo

grande

Meissner

Pacini

Merkel

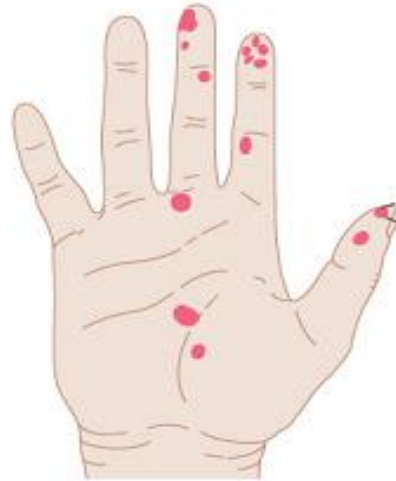
Ruffini

Risoluzione spaziale del campo ricettivo

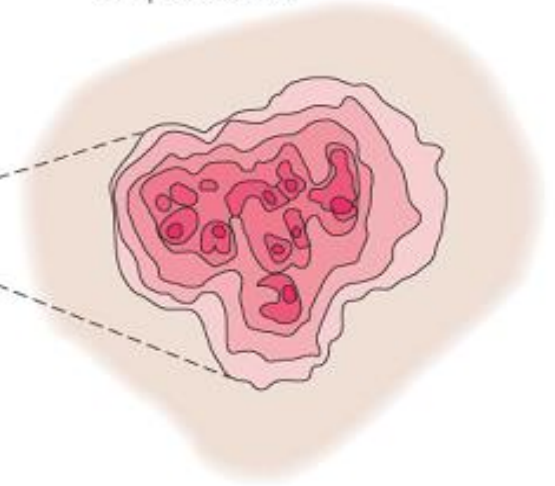
A Meccanocettori a lento adattamento



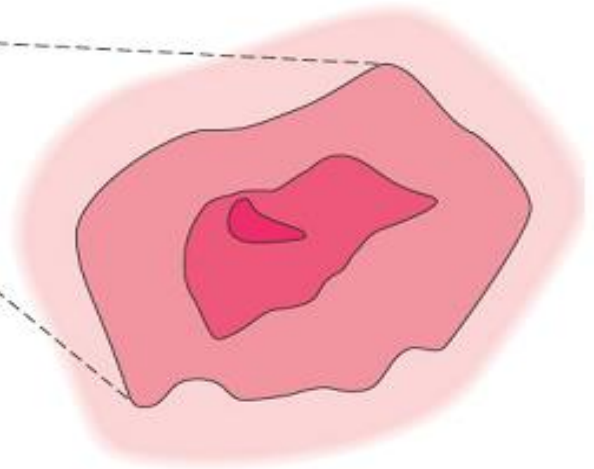
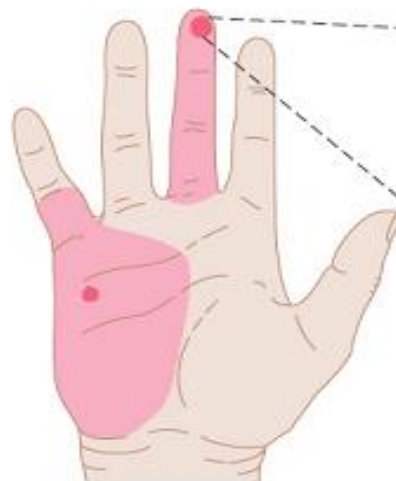
B Meccanocettori a rapido adattamento



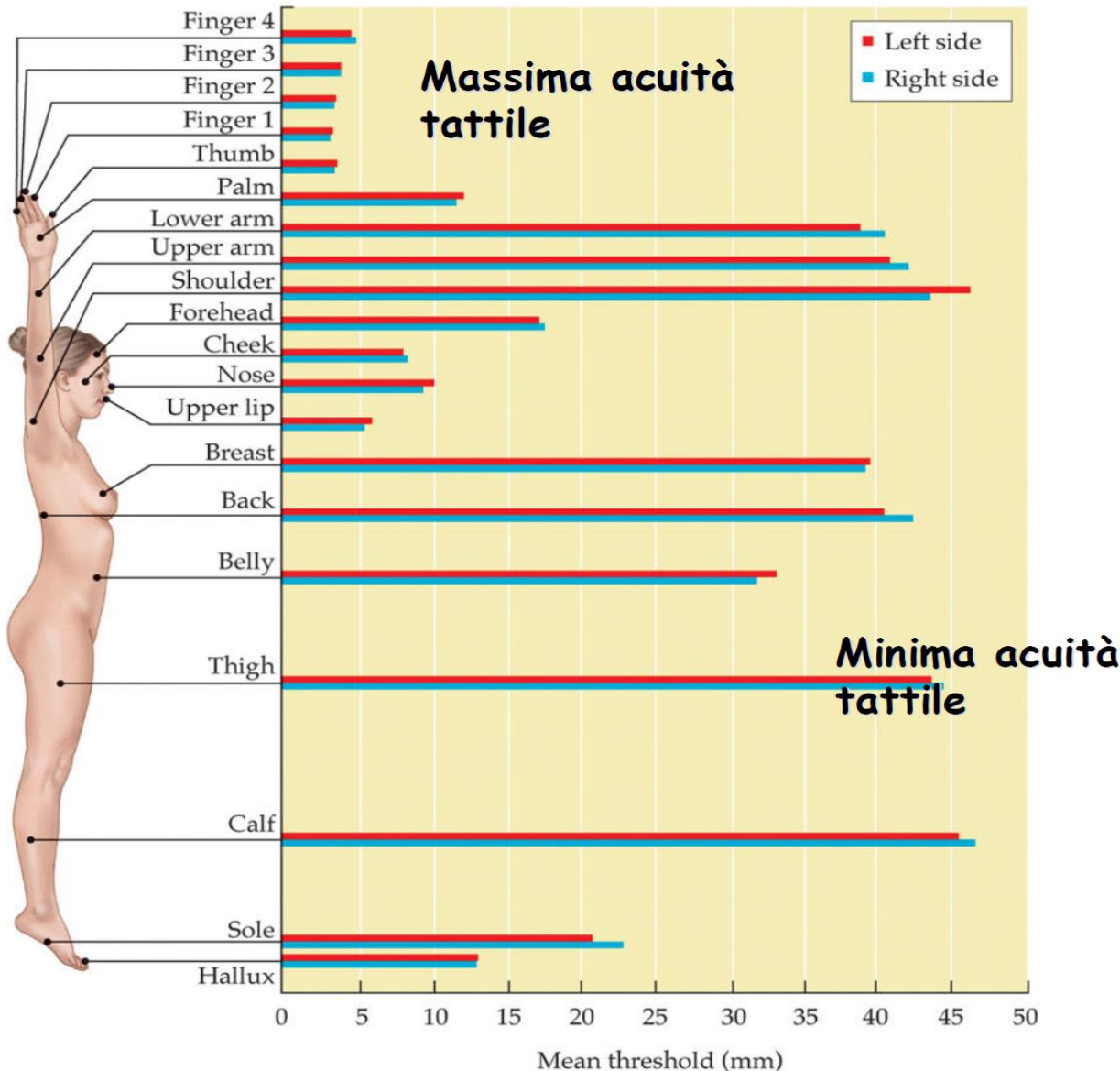
C Struttura del campo ricettivo



Strati profondi



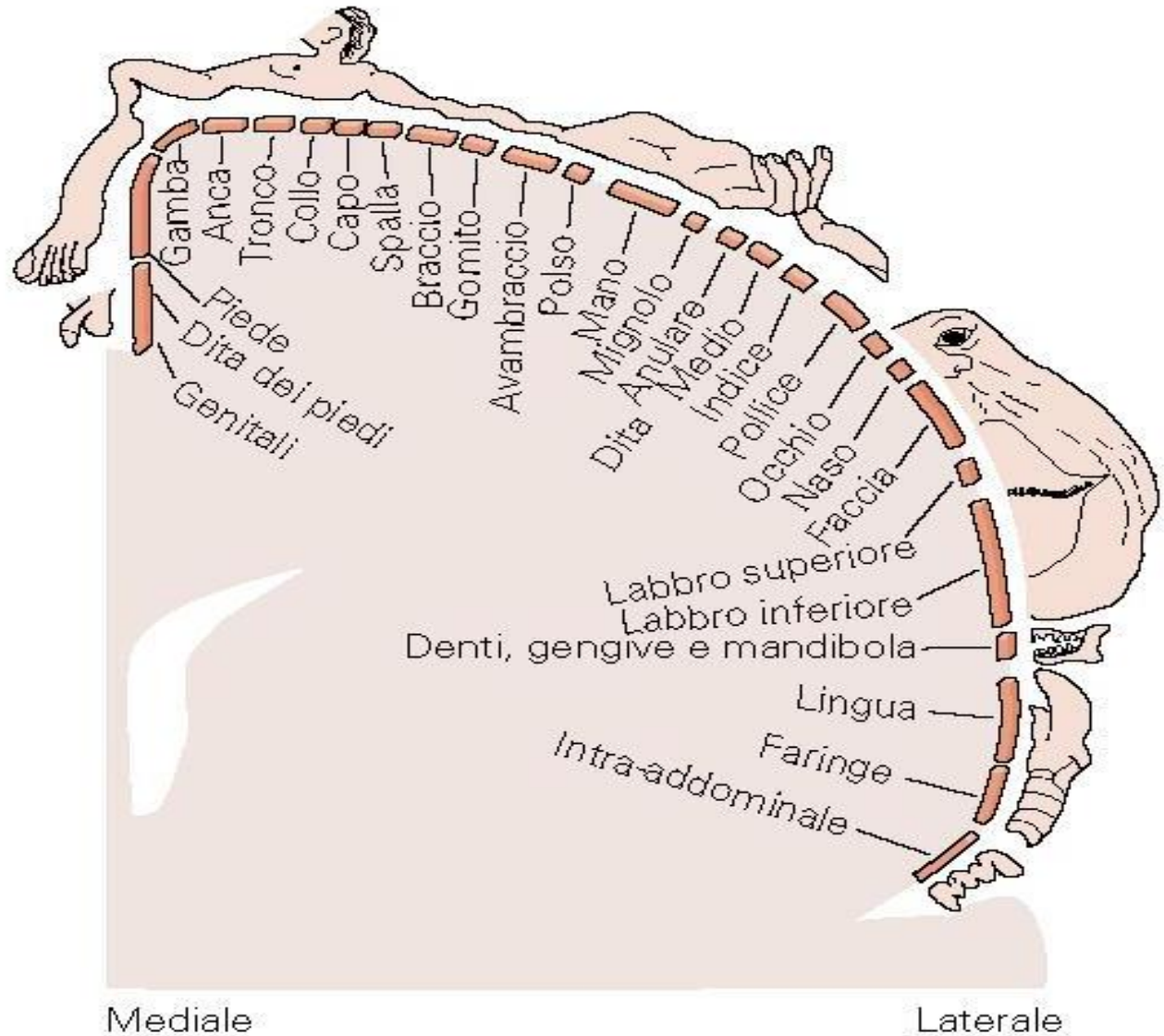
La risoluzione spaziale degli stimoli cutanei varia a seconda della regione del corpo



L'acuità tattile può essere valutata misurando la capacità di distinguere due stimoli tattili separati l'uno dall'altro (es 2 punte di un compasso)

Homunculus sensitivo

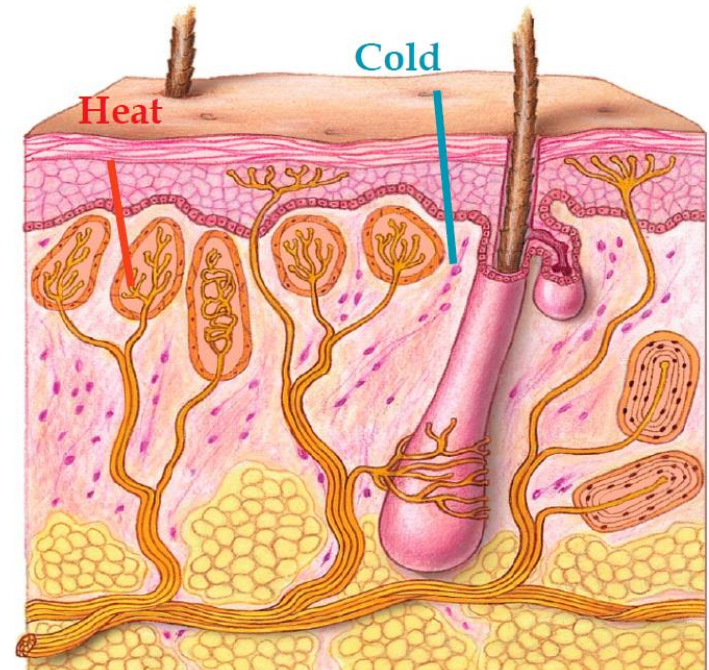
Homunculus sensitivo



L'area della corteccia somatosensitiva dedicata all'elaborazione delle informazioni codificate in una determinata parte del corpo dipende dalla presenza di recettori nell'area interessata.

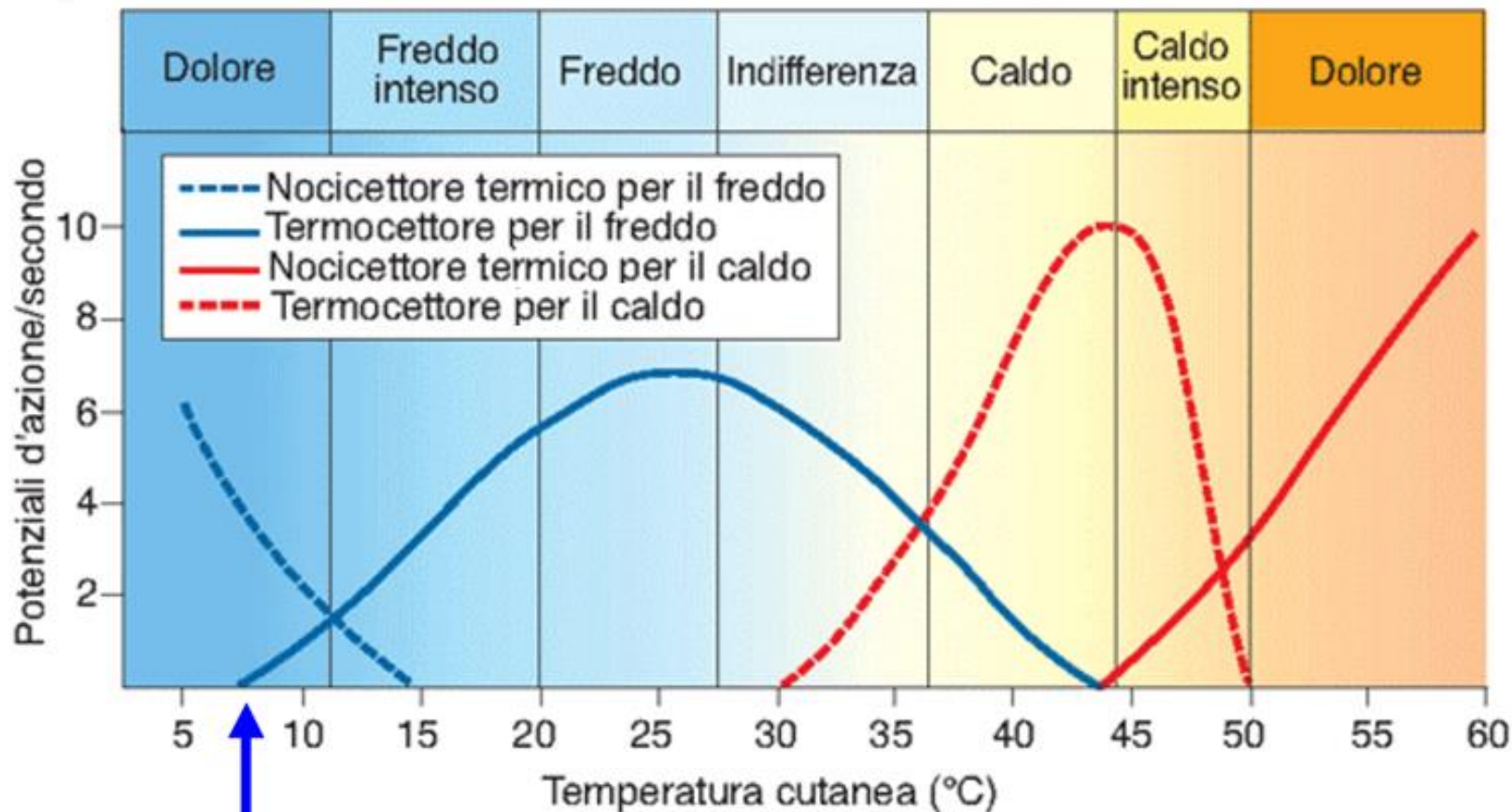
Termorecettori

- Si dividono in recettori del caldo e del freddo. Essi hanno una scarica costante alle normali temperature corporee ($35-37^{\circ}\text{C}$)
Essi segnalano la differenza della temperatura di un oggetto o dell'aria rispetto alla temperatura della pelle.
- Non rilevano la temperatura esterna ma quella della cute (34°C) che risente della temperatura esterna
- Sono terminazioni nervose libere situate sia nell'epidermide che nel derma



Recettori per il caldo

Recettori per il freddo



Solo dolore

Velocità di conduzione

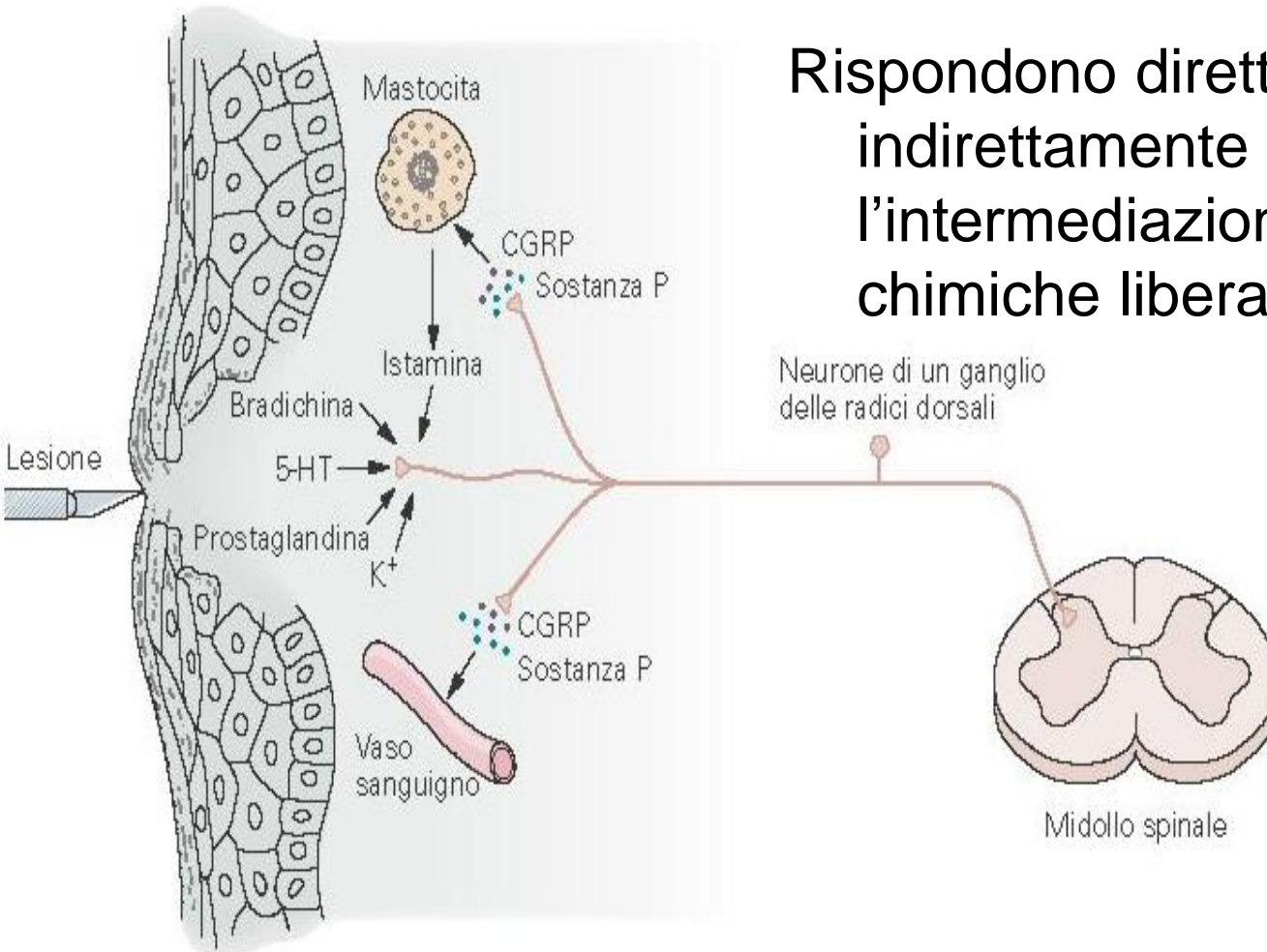
Fibre nervose afferenti che hanno caratteristiche differenti che si riflettono sulla velocità di trasmissione del segnale

	μm	m/sec	
$A\alpha$	20-13	80-120	Propiocettori
$A\beta$ (grandi, mielina)	12-6	35-75	Meccanocettori cutanei (tatto)
$A\delta$ (piccole, mielina)	5-1	5-30	Dolore Temperatura
C (piccole, no mielina)	0,2-1,5	0,5-2	Dolore Temperatura Prurito

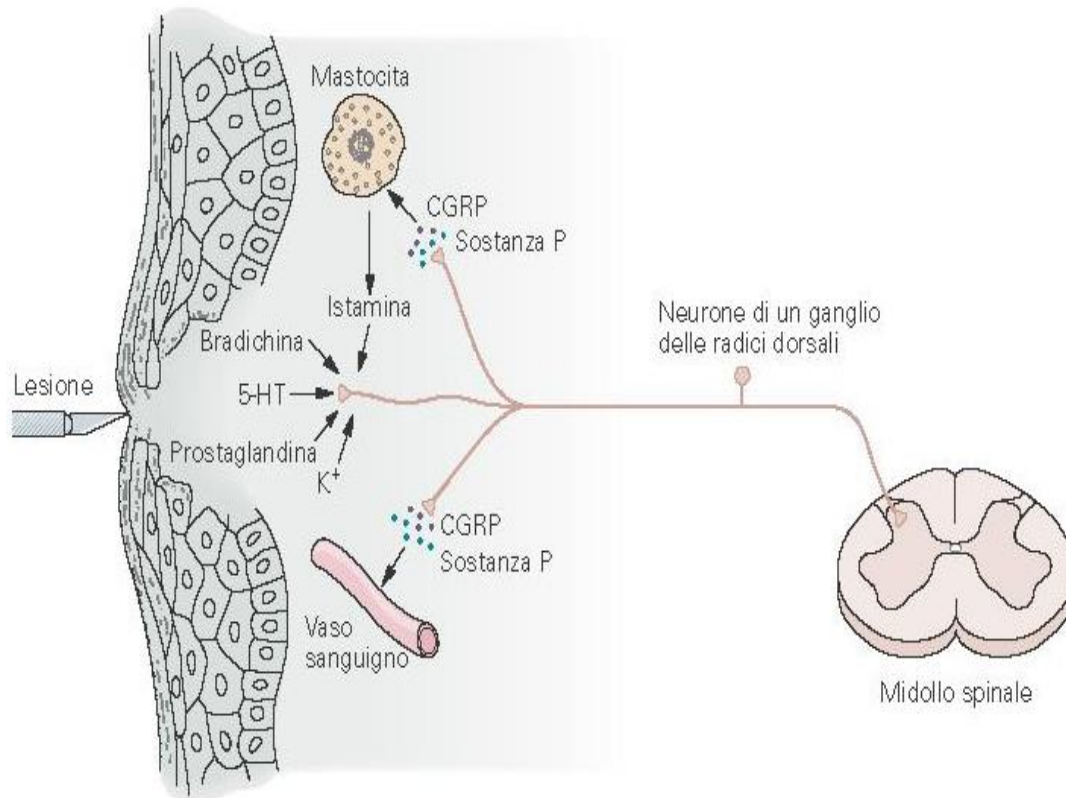
I nocicettori

Sono i recettori che rispondono a **stimoli nocivi**.

Rispondono direttamente o indirettamente attraverso l'intermediazione di sostanze chimiche liberate dai tessuti lesi.



Sensibilizzazione e iperalgesia



Sostanza	Azione sulle fibre afferenti	Fonte
Potassio	Attivaz	Cellule Lese
Serotonina	Attivaz	Piastrine
Istamina	Attivaz	Mastociti
Sostanza P	Sensib	Fibre afferenti primarie
Prostaglandine	Sensib	Cellule lese

Caratterizzata da un abbassamento della soglia di attivazione dei nocicettori

4 tipi di nocicettori

Nocicettori termici

Possiedono **fibre A δ** e una sottile guaina **mielinica**. Attivati da stimoli termici particolarmente alti e/o bassi (in media sotto i 5° e/o sopra i 45°).

Nocicettori meccanici

Possiedono **fibre A β** e una sottile guaina **mielinica**. La loro attivazione richiede stimoli meccanici intensi (ad es. oggetti aguzzi che penetrano la cute).

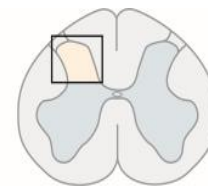
Nocicettori polimodali

Dotati di **fibre C di piccolo diametro, amieliniche**. Sono alla base di un **dolore lento ed urente** e vengono attivati da diverse tipologie di stimolazioni.

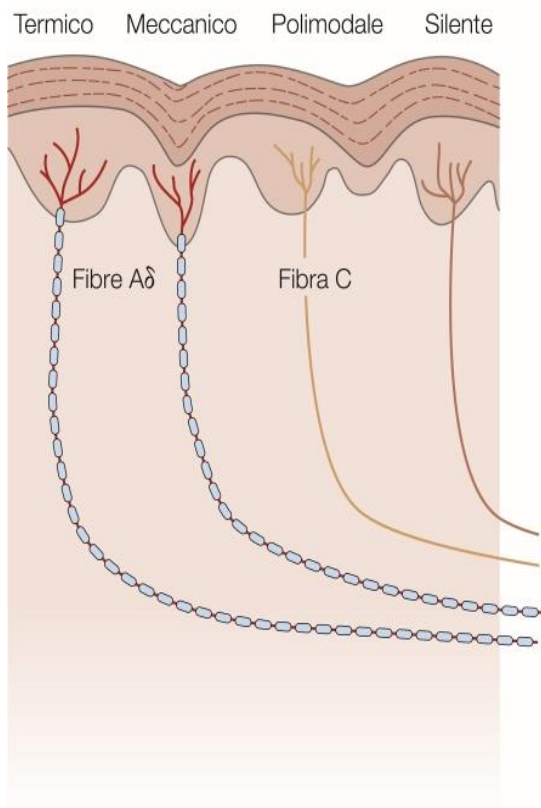
Nocicettori silenti

Si tratta di **recettori viscerali** che vanno incontro ad un abbassamento della loro soglia d'attivazione durante i processi infiammatori (**fibre A δ e C**).

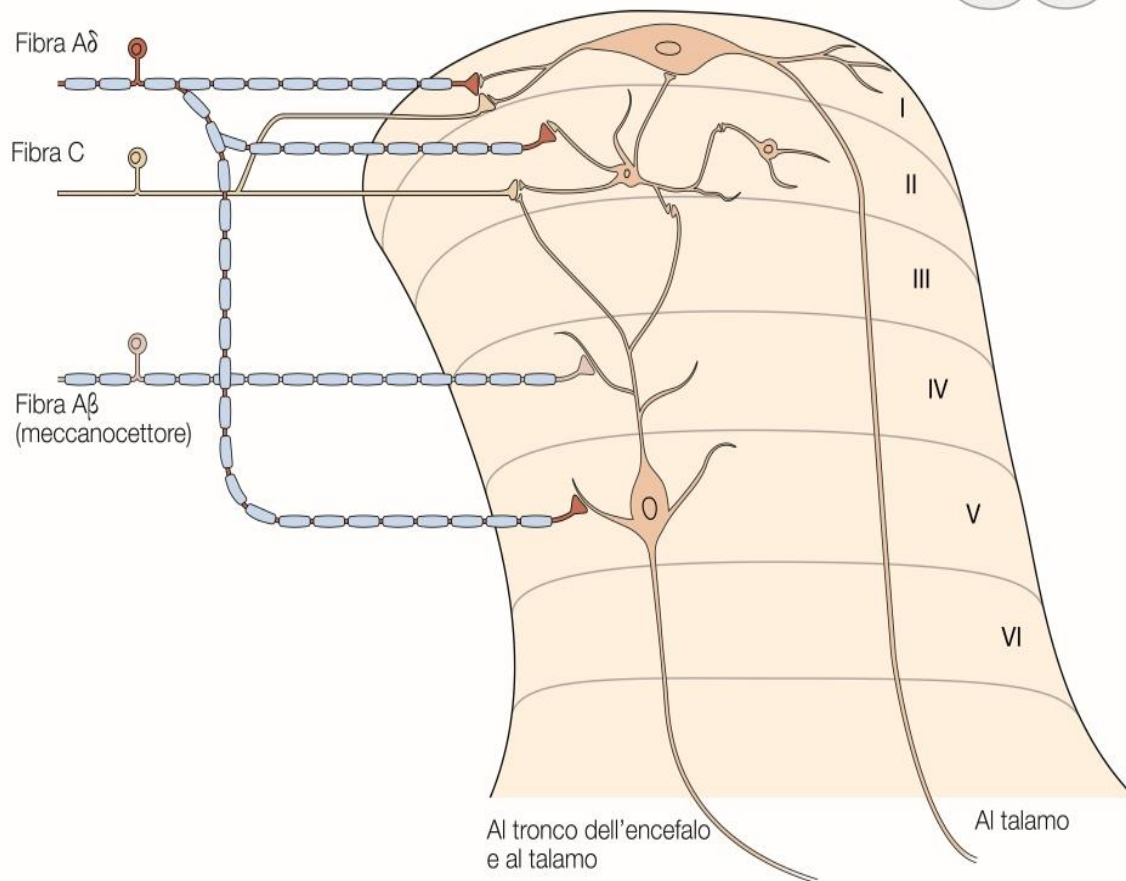
Organizzazione delle proiezioni nocicettive in corrispondenza del corno dorsale



A Tipi di nocicettori



B Afferenze al midollo spinale



La proprioccezione

La proprioccezione è il senso della posizione e dei movimenti (= cinestesia) dei propri arti e del proprio corpo. Queste informazioni sono essenziali per il controllo dei movimenti e della postura ma sono anche parte essenziale della percezione del nostro corpo.

Integrazione delle funzioni propriocettive del sistema somatosensoriale con quelle dell'apparato vestibolare (percezione della posizione della testa rispetto all'asse gravitazionale e dei movimenti di accelerazione lineare e rotazionale)

PROPRIOCEZIONE CONSCIA: i recettori localizzati nelle capsule articolari forniscono informazioni sensitive alla corteccia cerebrale, che a sua volta le utilizza per generare la consapevolezza del senso cenestetico (cenestesia: la posizione delle articolazioni, la direzione e la velocità dei movimenti articolatori).

PROPRIOCEZIONE NON CONSCIA: percezione mediata dai fusi neuromuscolari. Queste informazioni sono raccolte dai seguenti recettori: fusi neuromuscolari e organi tendinei del Golgi.

Velocità di conduzione

Fibre nervose afferenti che hanno caratteristiche differenti che si riflettono sulla velocità di trasmissione del segnale

	μm	m/sec	
Aα	20-13	80-120	Propiocettori
Aβ (grandi, mielina)	12-6	35-75	Meccanocettori cutanei (tatto)
Aδ (piccole, mielina)	5-1	5-30	Dolore Temperatura
C (piccole, no mielina)	0,2-1,5	0,5-2	Dolore Temperatura Prurito

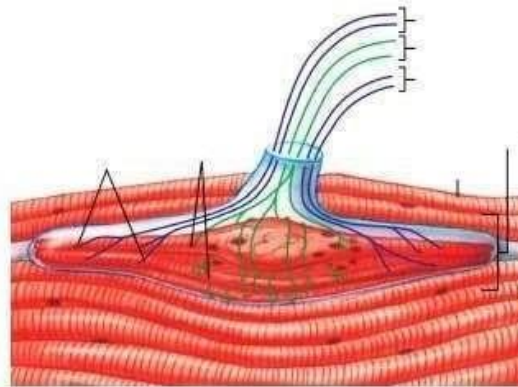
Tre tipologie di meccanoceettori propriocettivi

Recettori del fuso neuromuscolare: collocati all'interno della struttura muscolare, rilevano le modifiche della contrazione delle fibre e il conseguenziale **stiramento** del muscolo.

Organo tendineo del Golgi: collocati al livello del tendine, rilevano la **forza contrattile** del muscolo

Recettori delle capsule articolari: collocate all'interno delle strutture articolari, sensibili a **flessione ed estensione** delle articolazioni

– Fusi Neuromuscolari ed Organo Tendineo del Golgi

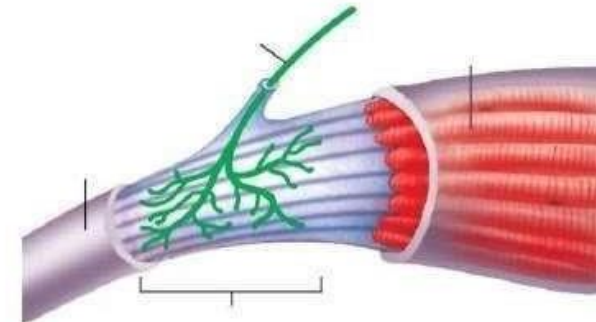


• Fuso Neuromuscolare

- Nel muscolo scheletrico
- Informa dello stato di allungamento del muscolo

• Organo tendineo del Golgi

- Nelle fibre tendinee in prossimità della giunzione col muscolo



Recettori che mediano le sensazioni viscerali

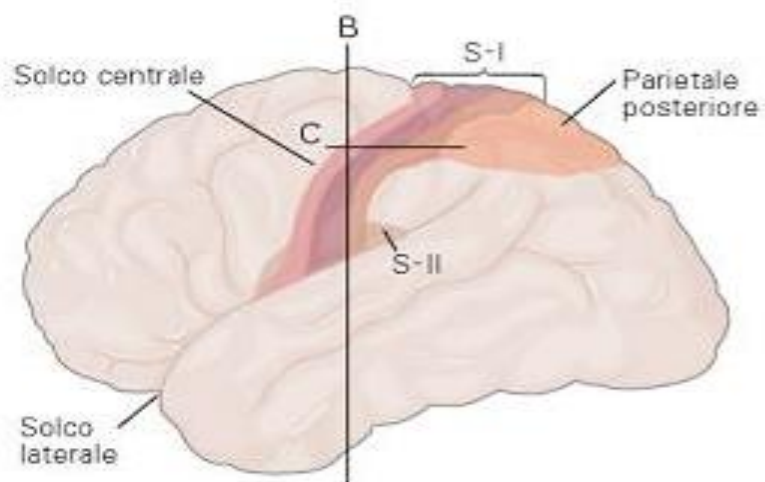
- **Meccanocettori**

attivati da distensione e stiramento dei muscoli viscerali (e.g., riempimento gastrico o vescica).

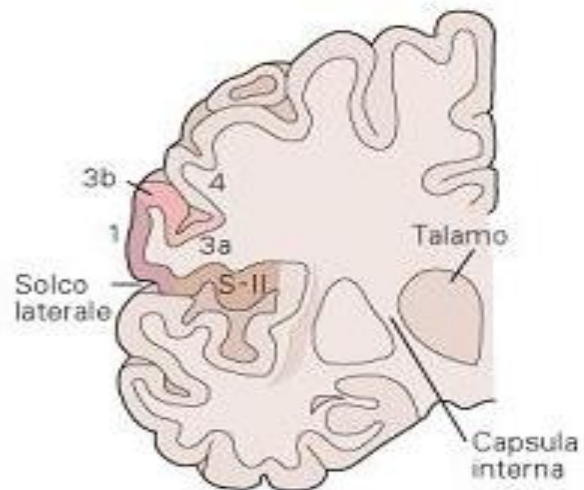
- **Chemocettori**

attivati dalle secrezioni gastriche ed entrano in gioco nei riflessi vegetativi.

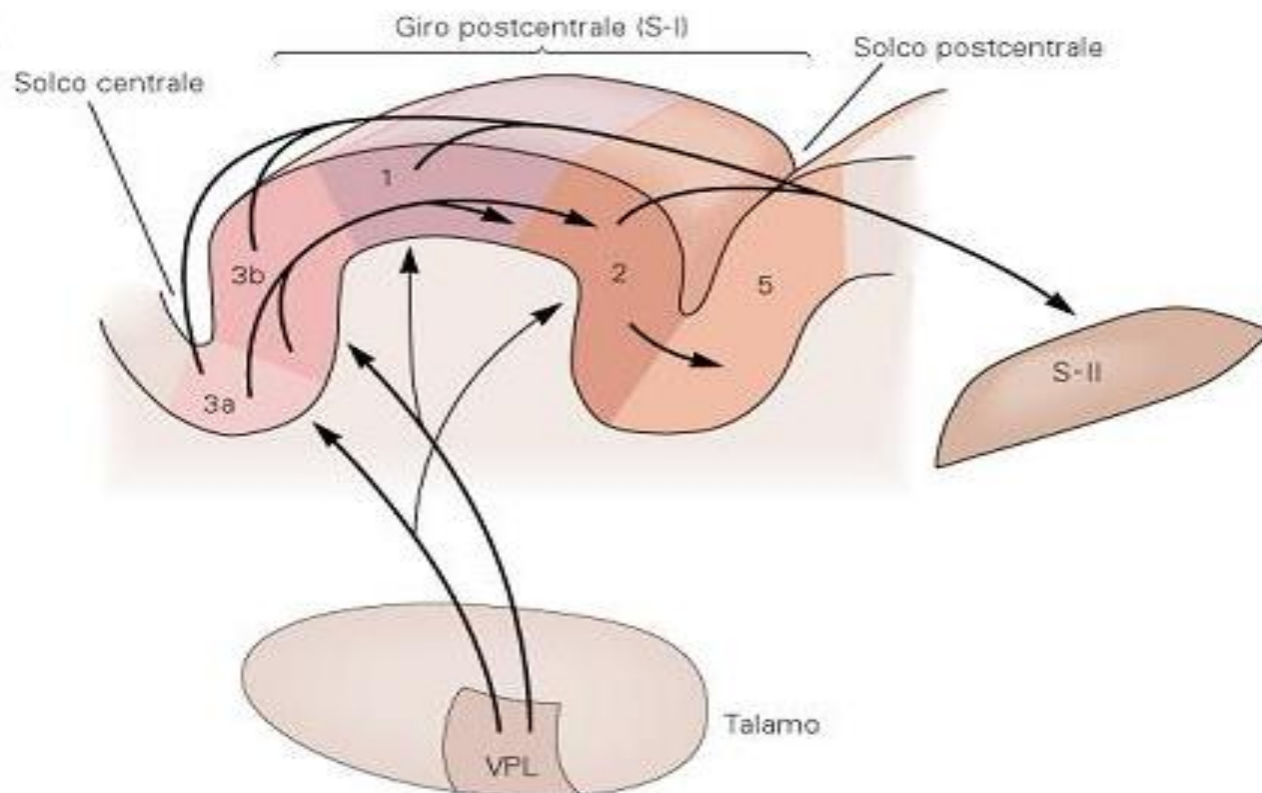
A Corteccia somatosensitiva



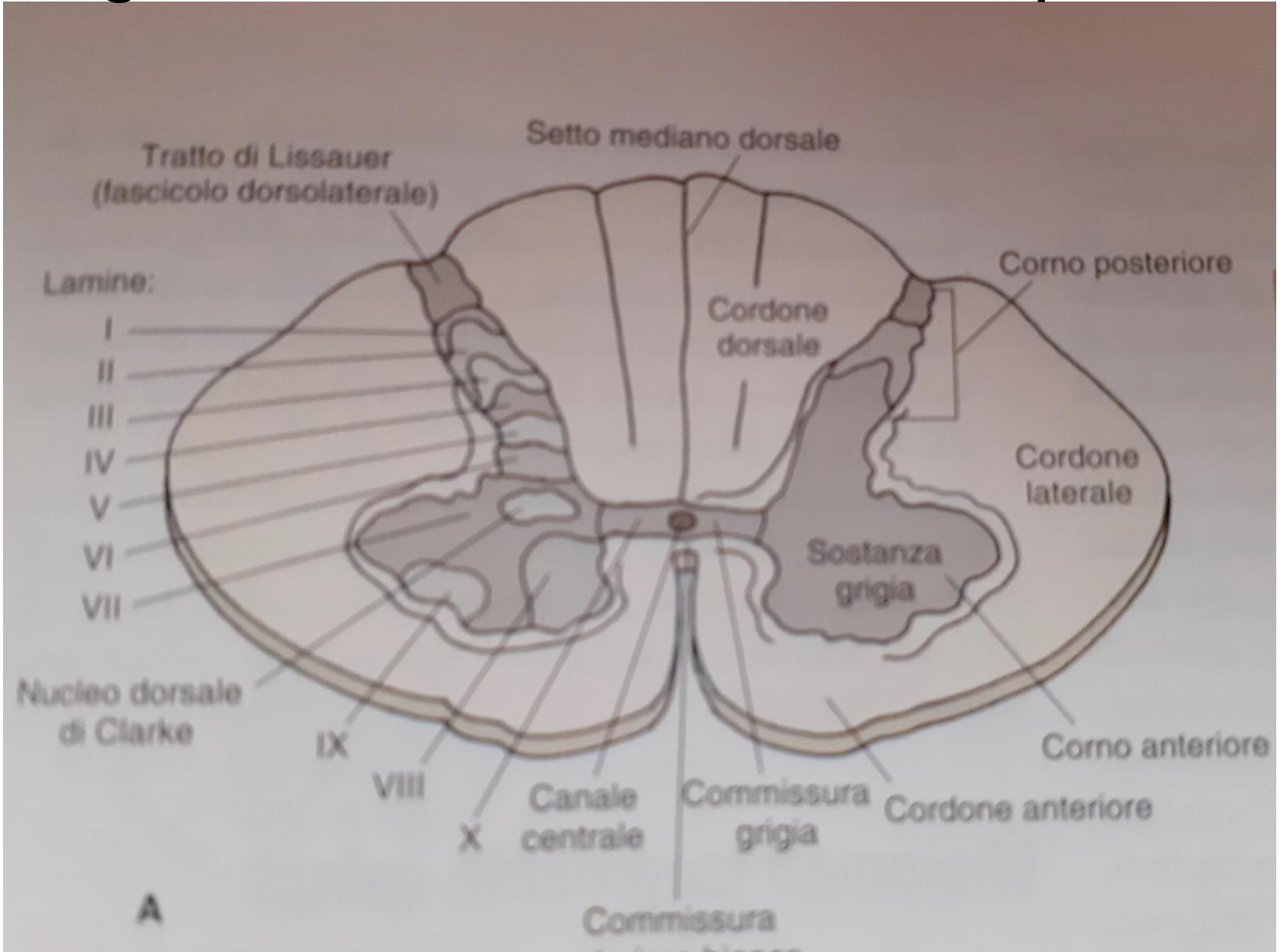
B Sezione coronale



C



Organizzazione del midollo spinale



Organizzazione del midollo spinale

Lamine	Strutture fondamentali
I	Fibre delle radici dorsali che mediano il dolore, la temperatura e la sensibilità tattile; nucleo posteromarginale
I	Neuroni della sostanza gelatinosa che mediano la trasmissione nocicettiva
III & IV	Nucleo proprio sensitivo che riceve le afferenze dalla sostanza gelatinosa e che contribuisce alla formazione del fascio spinotalamico che media la sensibilità dolorifica, termica e tattile
V	Neuroni che ricevono le afferenze discendenti tramite i fasci corticospinale e rubrospinale; neuroni che contribuiscono alla formazione dei fasci spinotalamici
VI	Presente solo nei mielomeri cervicali e lombari; la regione laterale riceve afferenze discendenti corticospinali e rubrospinali; la regione mediale riceve afferenze dai fusi neuromuscolari e dai propriocettori articolari
VII	Il nucleo dorsale di Clarke si estende da C8 a L2 e riceve afferenze dai muscoli e dai tendini; gli assoni di questo nucleo formano i fasci spinocerebellari; la colonna intermediolaterale contiene i neuroni simpatici pregangliari da T1 a L3; i neuroni parasimpatici sono localizzati nei mielomeri S2-S4; cellule di Renshaw
VIII & IX	Si trova nel corno anteriore; motoneuroni α e γ che innervano i muscoli scheletrici; neuroni della regione mediale ricevono afferenze dalle vie vestibolospinali e reticolospinali e innervano la muscolatura assiale per la postura e l'equilibrio; neuroni della regione laterale ricevono afferenze dalle vie corticospinali e rubrospinali e innervano la muscolatura distale
X	Sostanza grigia che circonda il canale centrale

I sistemi di ritrasmissione delle informazioni somatosensoriali (vie afferenti)

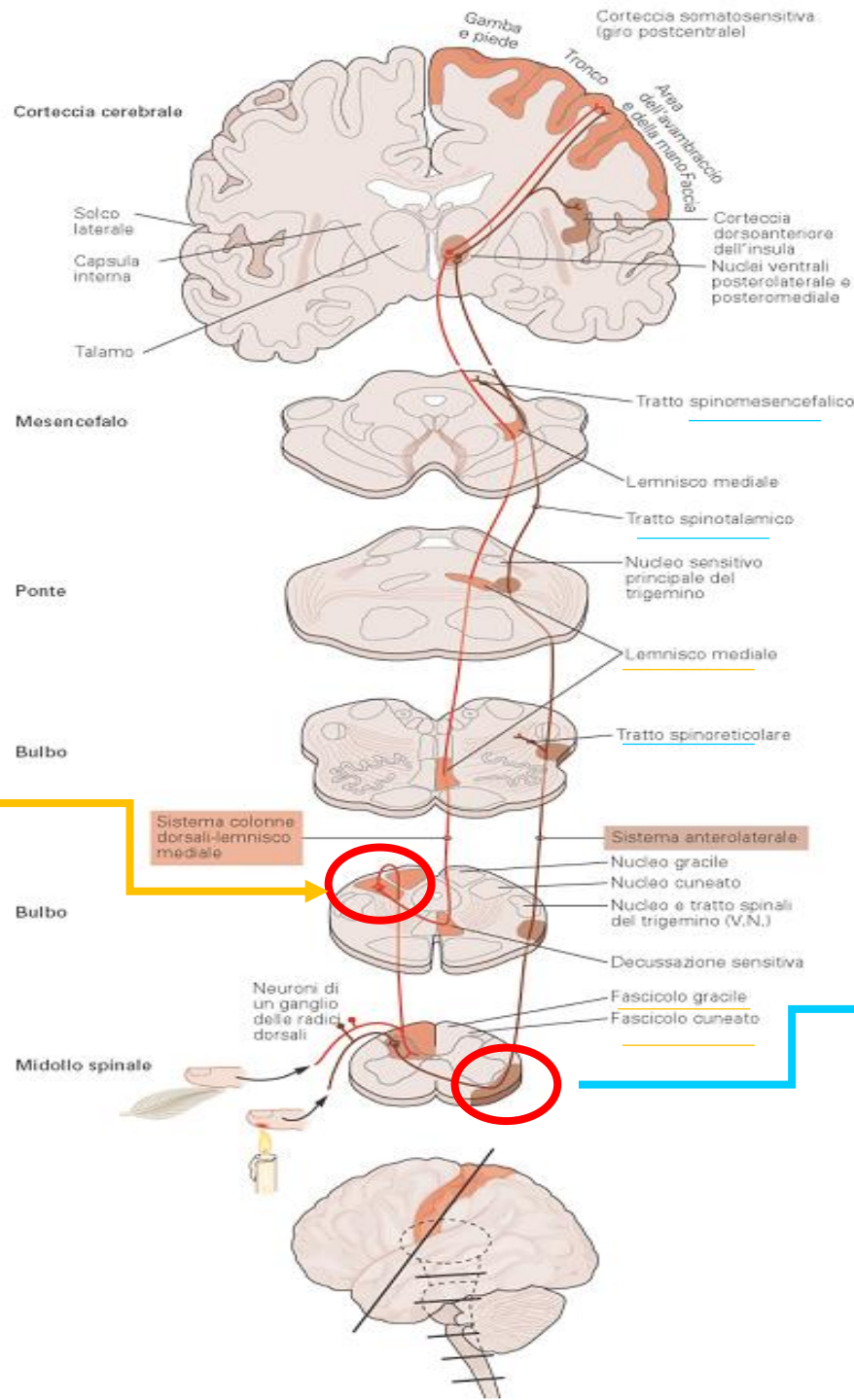
Il sistema delle colonne dorsali leminisco mediale: la via del tatto e della proprioccezione.

<https://www.youtube.com/watch?v=nQfRUehU4zQ&t=47s>

Il sistema anterolaterale: la via delle informazioni nocicettive e termiche.

<https://www.youtube.com/watch?v=gcOqv0uzyAQ>

Il sistema delle
colonne dorsali
lemnisco mediale
(tatto e
propriocezione)



Il sistema
anterolaterale
(temperatura e
dolore)

Decussazione

Decussazione

Via Lemnisco Mediale

<https://www.youtube.com/watch?v=7bnHqKd7NKA>

Il sistema delle colonne dorsali- lemnisco mediale (tatto e propriocezione)

Le sue fibre decussano a livello del **BULBO** e trasmettono direttamente ai **nuclei talamici**, dopo la decussazione in corrispondenza dei nuclei gracile e cuneato, pervenendo alla corteccia somatosensoriale
Ogni nucleo darà origine ad un'ulteriore suddivisione.

- **Fascicolo gracile**

A partire dalle sinapsi del nucleo gracile, contiene le fibre dei **segmenti sacrali, lombari e toracici**, regioni inferiori del corpo.

- **Fascicolo cuneato**

Fibre dei **segmenti toracici superiori e cervicali**, regioni superiori del corpo. Le informazioni poi continuano a salire attraverso il tronco encefalico, ponte, mesencefalo, talamo e raggiungono diverse porzioni dell'homunculus sensitivo in funzione della natura del fascicolo considerato.

IL sistema anterolaterale

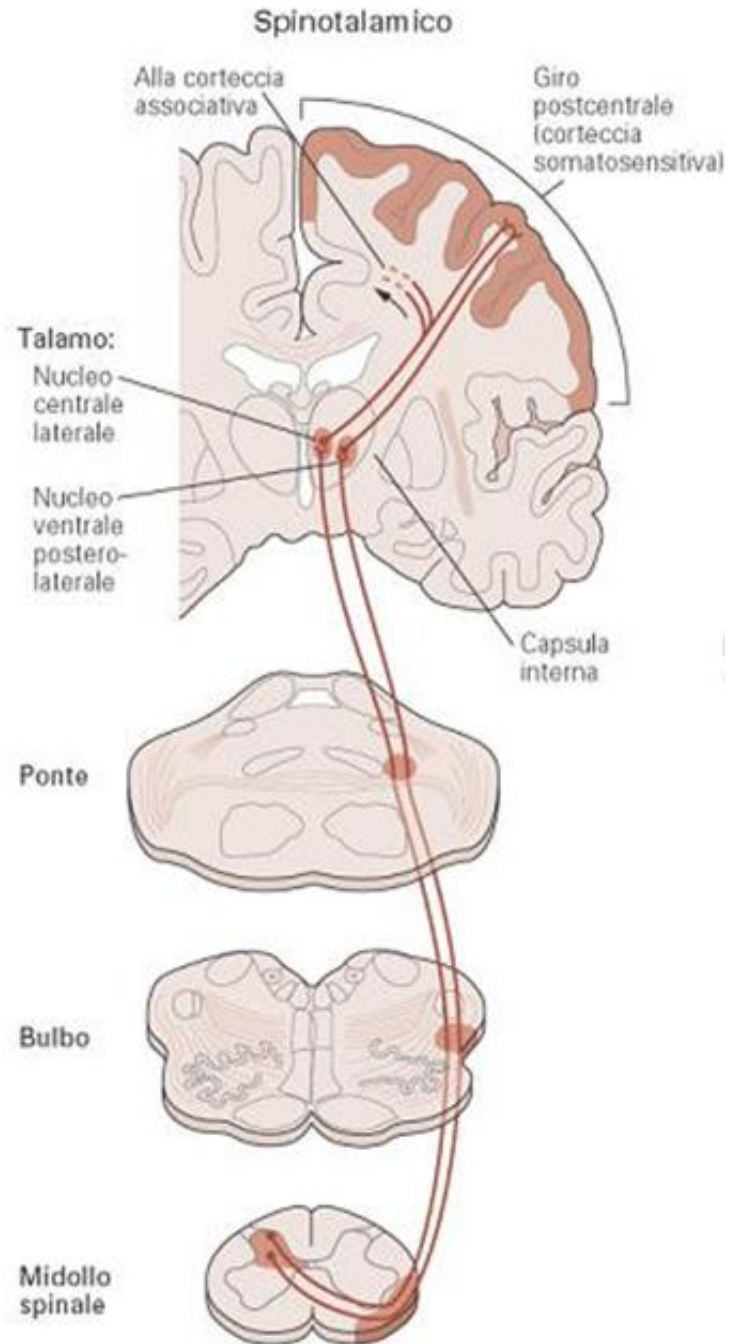
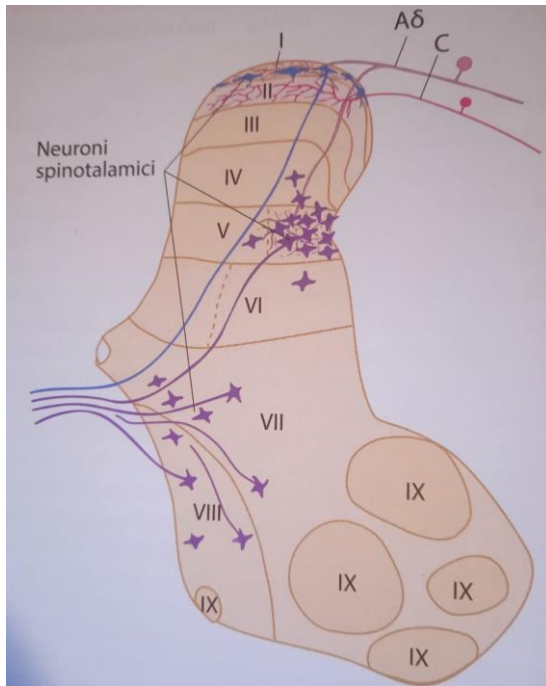
(termiche/dolorifiche)

Le fibre di questo tratto **decussano la linea mediale a livello del midollo** e ascendono controlateralmente al bulbo.

Proietta sia **direttamente** che **indirettamente** al talamo pervenendo in corrispondenza della corteccia somatosensoriale al talamo **attraverso 3 tratti:**

Il tratto spinotalamico

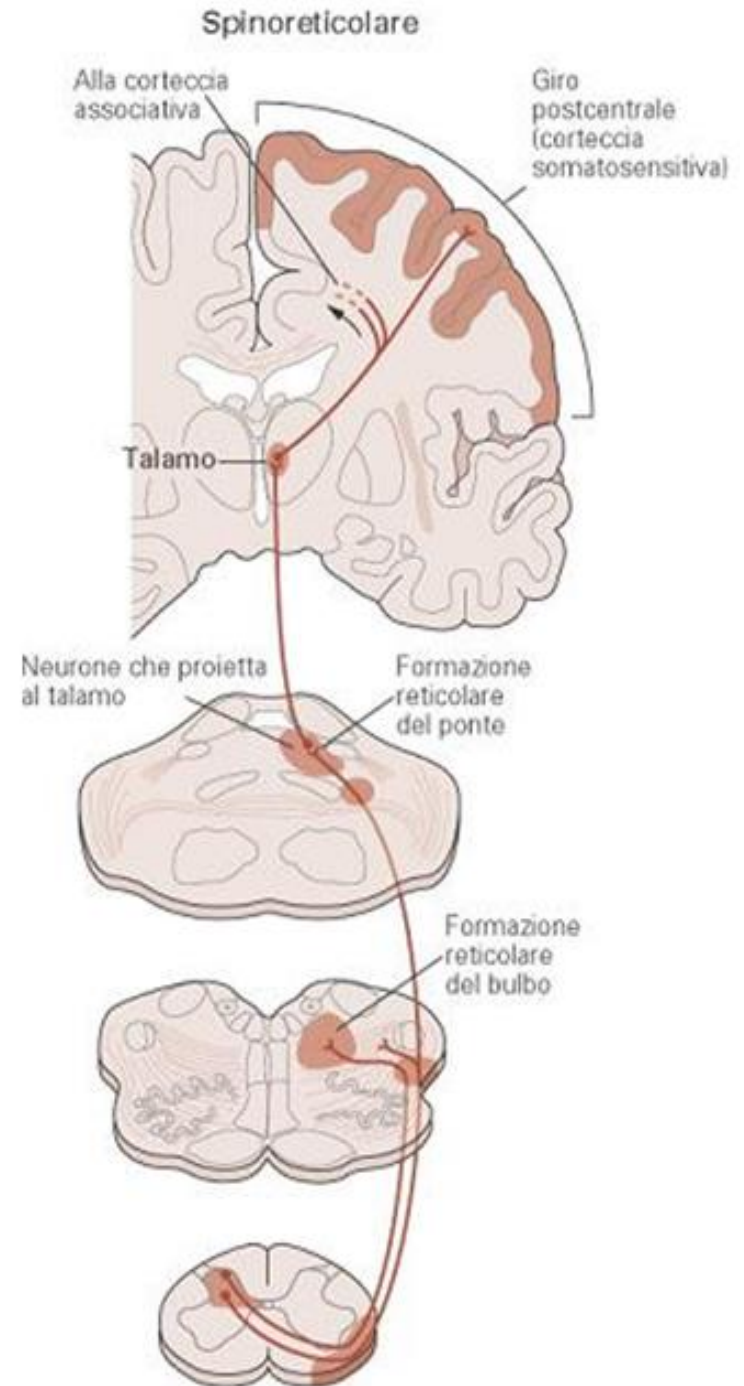
Comprende i neuroni nocicettivi delle **lamine I, V e VII del corno dorsale** del midollo spinale e **trasmette direttamente al talamo**.



Tratto spinoreticolare

Composto dagli assoni dei neuroni delle **lamine VII e VIII**.

Contraggono **sinapsi con i neuroni della sostanza reticolare del bulbo e del ponte** prima di ritrasmettere al **talamo**.

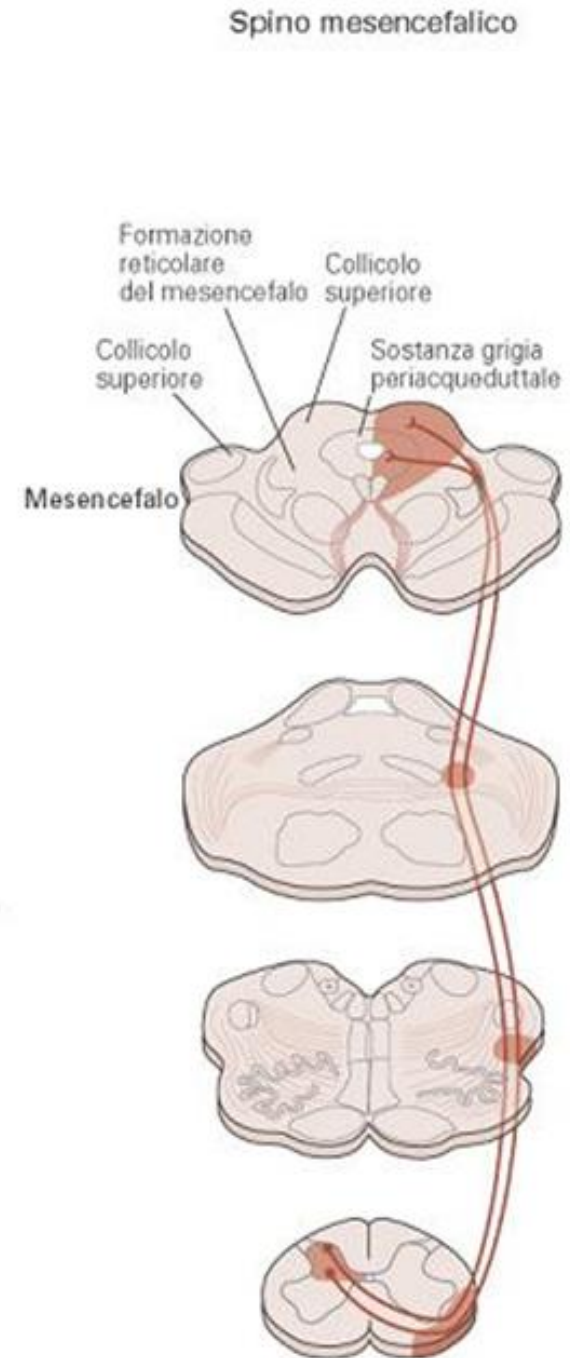


Tratto spinomesencefalico

Composto dagli assoni di neuroni delle **lamine I e V** del midollo spinale.

Proiezioni:

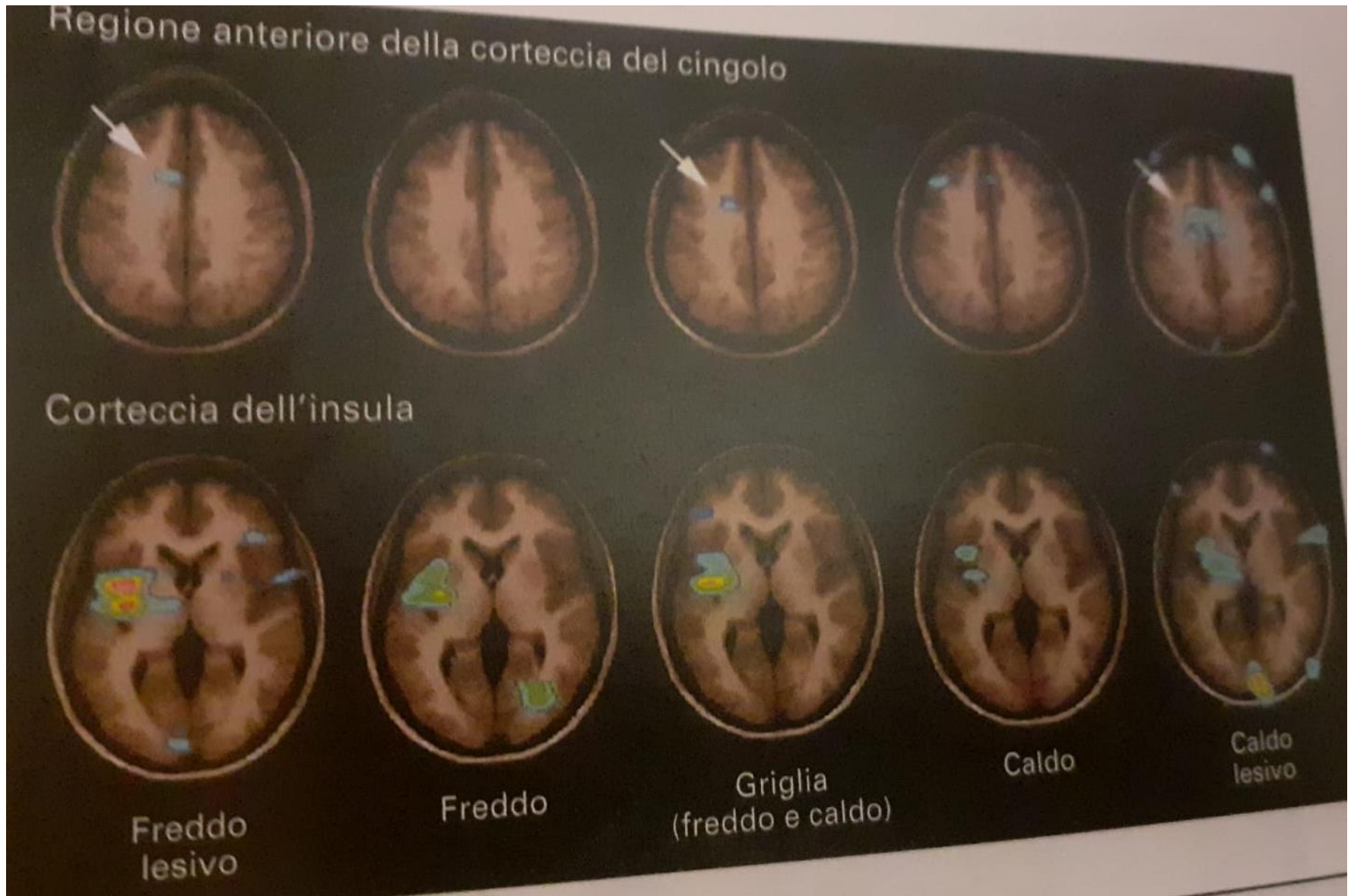
- 1) **Formazione reticolare del mesencefalo;**
- 2) **Grigio periacqueduttale;**
- 3) **Amigdala.**



La corteccia Somatosensoriale Primaria (S1)

<https://www.youtube.com/watch?v=8hDoO0wcq8Q>

Insula, ACC e dolore

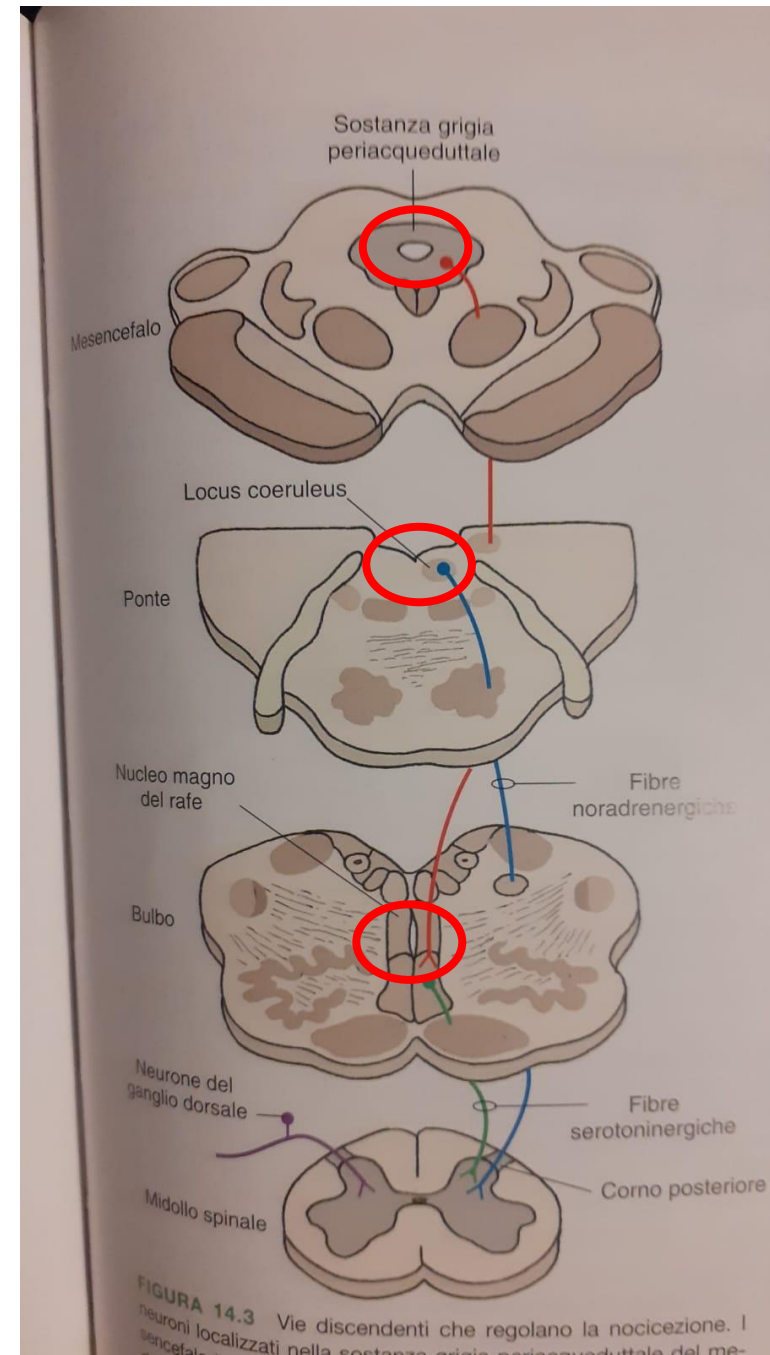


Vie discendenti di regolazione del dolore

Via del PAG: la ricerca dimostra che la stimolazione del **PAG** provoca analgesia probabilmente modulando il **nucleo rafe magno (NRM)**.

Via del NRM: gli assoni dei NRM sono in contatto con **interneuroni** del midollo spinale contenenti **encefalina** che inibisce i neuroni del *tratto spino talamico* agendo su rilascio di neurotrasmettitore.

Via noradrenergica: agisce in modo simile alla via NRM, ma il punto di partenza e' il **Locus Coeruleus**.



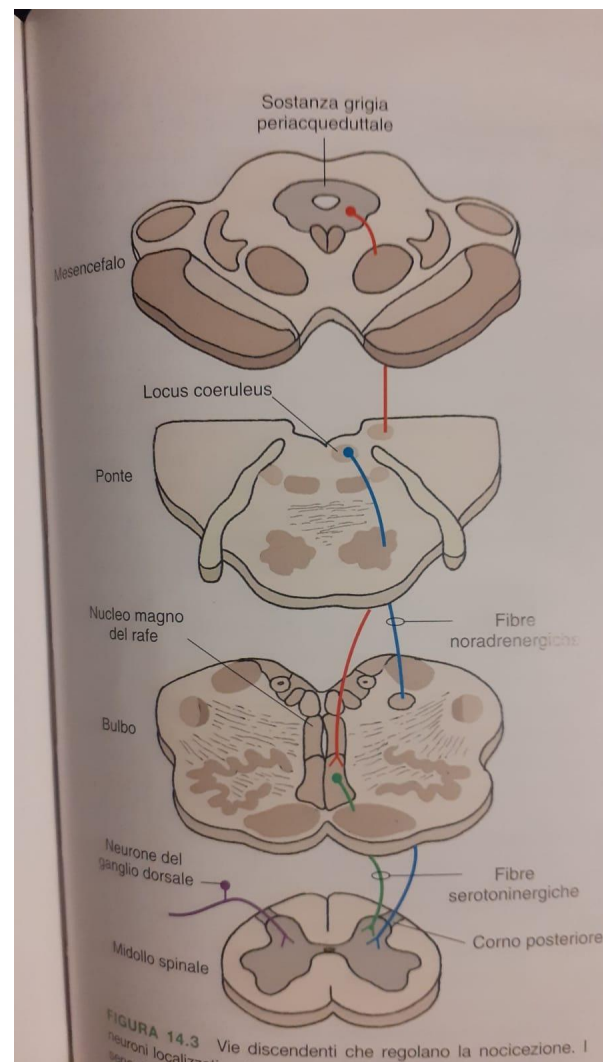
Recettori e oppioidi endogeni

recettori

Il nostro corpo è dotato di 3 classi di recettori per gli oppioidi: (**mu**, **delta**, **k**).

- **Mu**: particolarmente presenti a livello del PAG e sono il sito di legame della morfina e del naloxone, anche alle **encefaline** e **Beta-endorfine**.
- **Delta**: legano principalmente alle **encefaline**
- **K**: legano principalmente alle **dinorfina**

Luoghi di sintesi



ALCUNE SINDROMI DOLORIFICHE:

Dolore dell'arto fantasma: quando un arto viene amputato alcuni individui hanno la sensazione di dolore che proviene dall'arto mancante. Si pensa che l'iperattività dei neuroni del corno posteriore del lato amputato possa creare una falsa sensazione di dolore che la persona riferisce all'arto amputato.

Causalgia (sindrome distrofica autonoma simpatica): la sensazione di bruciore tipica della causalgia è determinata da un aumento dell'attività simpatica efferente dopo la lesione di un nervo periferico. La persistente sensazione di bruciore è presente a livello della mano o del piede.

Nevralgia: è caratterizzata da un dolore severo e persistente nella regione di innervazione di un nervo spinale o cranico. Ad esempio nella nevralgia trigeminale il dolore è indotto da varie attività come mangiare o il pulirsi i denti ed è limitato al territorio di distribuzione del nervo trigemino nella faccia.

Cefalea: la International Headache Society ha classificato almeno 150 tipi di cefalee che sono classificate in cefalee primarie, secondarie e in nevralgie craniche.

- Le cefalee primarie includono le cefalee tensive, le emicranie e le cefalee a grappolo
- Le cefalee secondarie sono causate da numerosi fattori come un trauma alla testa o al collo, una lesione vascolare cranica o infezioni.
- Le nevralgie craniche sono il risultato di un dolore ad origine nervosa nella regione del capo

cefalea

