

Sistema somatosensitivo

www.fisiokinesiterapia.biz

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**
 - **Pressione**
 - **Propriocezione**
 - **Temperatura**
 - **Dolore**

Tatto e Pressione:

I recettori tattili e pressori sono dei meccanocettori, ampiamente distribuiti nella pelle. Tre dei recettori coinvolti nel tatto e nella pressione sono:

Terminazioni nervose libere

Terminazioni dendritiche di neuroni sensoriali, interposte tra le cellule epiteliali della pelle: importanti per la percezione degli oggetti che sono a contatto con la pelle e per la percezione del dolore.

Corpuscoli di Meissner

consistono in terminazioni di nervi sensoriali circondate da tessuto connettivo; sensibili alle sensazioni tattili localizzate: importanti nella percezione di leggeri stimoli tattili discriminativi.

Corpuscoli del Pacini

Corpuscoli lamellari, circondati da diversi strati di tessuto connettivo; comuni nel derma profondo e nel tessuto sottocutaneo, nei tendini e nei legamenti; stimolati da forti pressioni.

- Corpuscoli di Pacini
 - Corpuscoli di Meissner
 - Organi di Ruffini
 - Corpuscoli di Merkel
- } stimoli vibratori
- } stimoli pressori

Propriocezione:

È il senso della postura; permette di percepire la localizzazione e la velocità del movimento di una parte del corpo rispetto ad un'altra.

- ***Organi tendinei del Golgi***, si trovano a livello delle giunzioni dei tendini con i muscoli.
- ***Fusi muscolari***, localizzati nei muscoli scheletrici, sono importanti meccanicocettori propriocettivi.

Temperatura:

I termocettori sono localizzati immediatamente al di sotto della pelle e sono ampiamente distribuiti; includono due tipi di terminazioni nervose per la percezione delle variazioni di temperatura:

- ***Recettori per il caldo***
- ***Recettori per il freddo.***
- Temperature $< 10^{\circ} \text{C}$ e $> 25^{\circ} \text{C}$ stimolano recettori dolorifici.

Dolore:

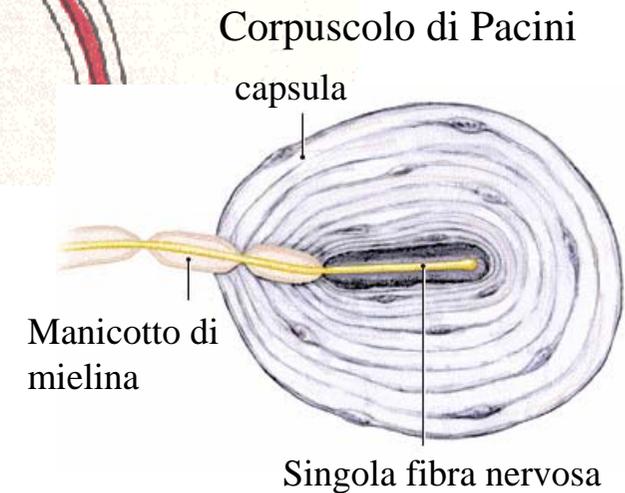
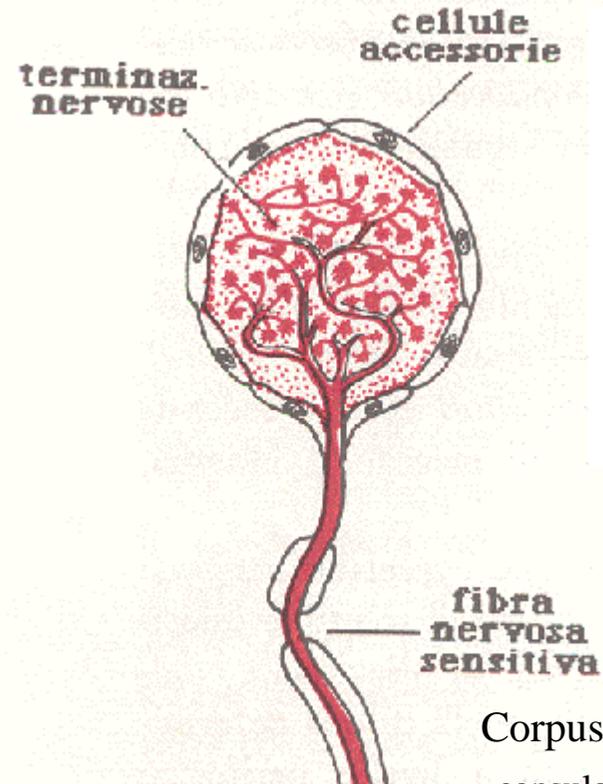
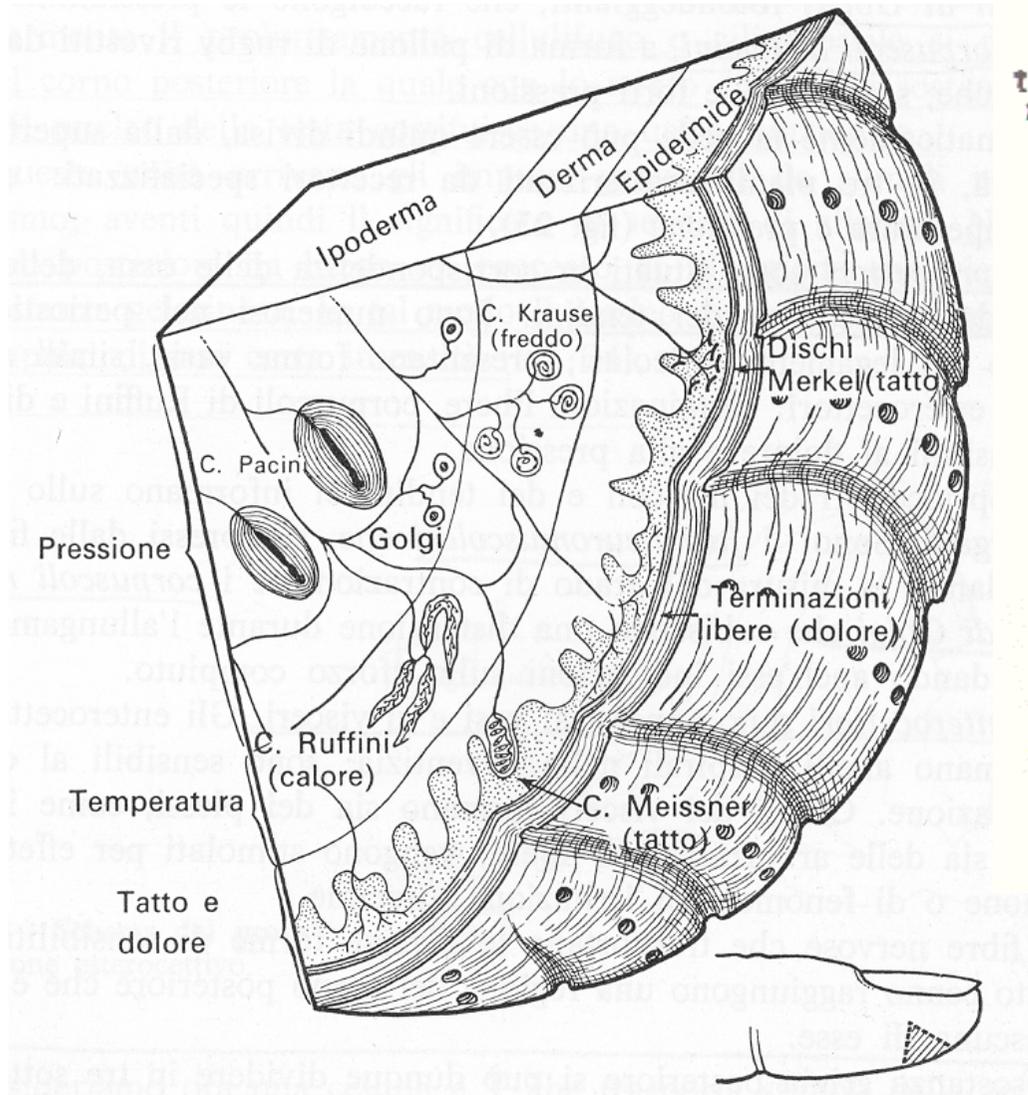
Il senso del dolore è generato dai *nocicettori*, che sono terminazioni nervose libere stimulate da un danneggiamento del tessuto; ampiamente distribuiti sulla pelle e nei tessuti degli organi interni. Essi hanno una funzione protettiva poichè il dolore è generalmente percepito come una sensazione spiacevole ed è un segnale per localizzare e rimuovere la causa del danneggiamento.

Possono venir attivati da stimoli meccanici, termici, chimici

Sono gli unici che mancano di adattamento

A livello cutaneo esistono recettori specifici per svariati tipi di stimoli

Si tratta di terminazioni nervose libere eventualmente munite di cellule accessorie

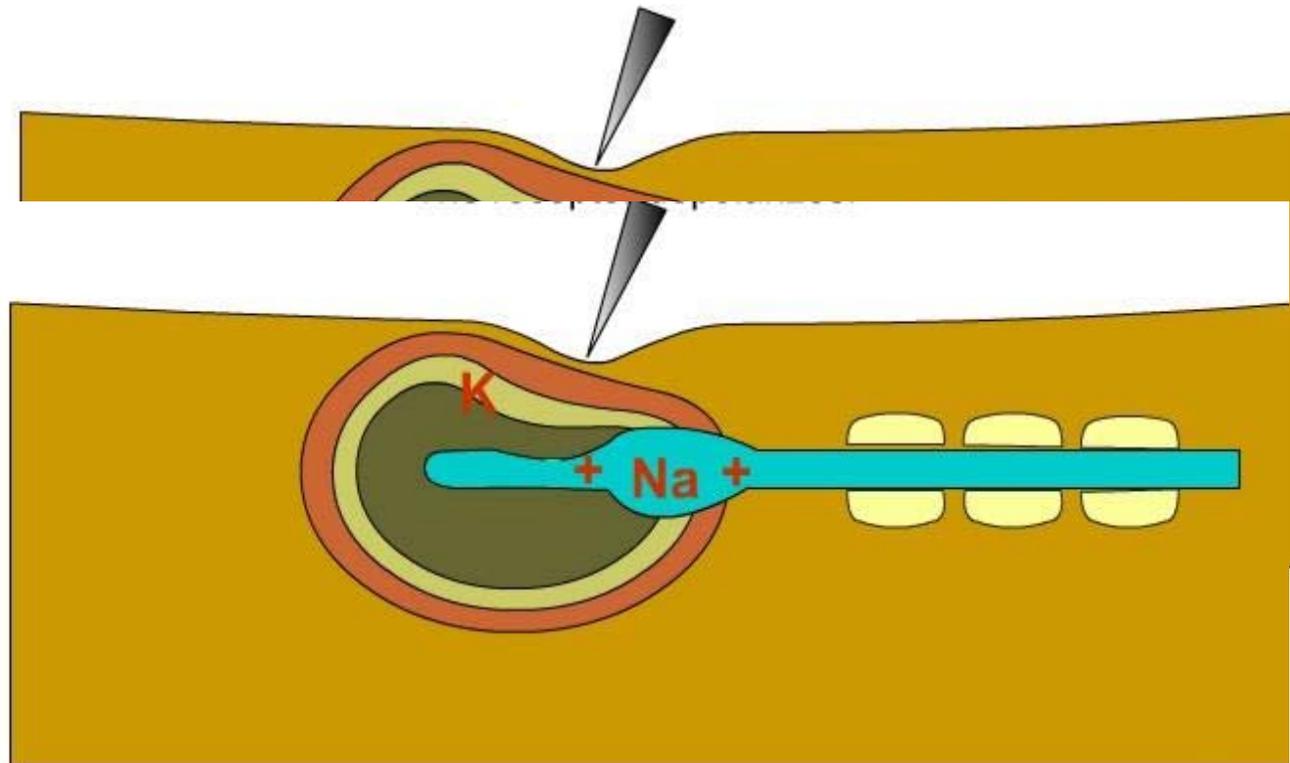


Come viene trasformata l'energia meccanica in energia elettrica dai recettori tattili?

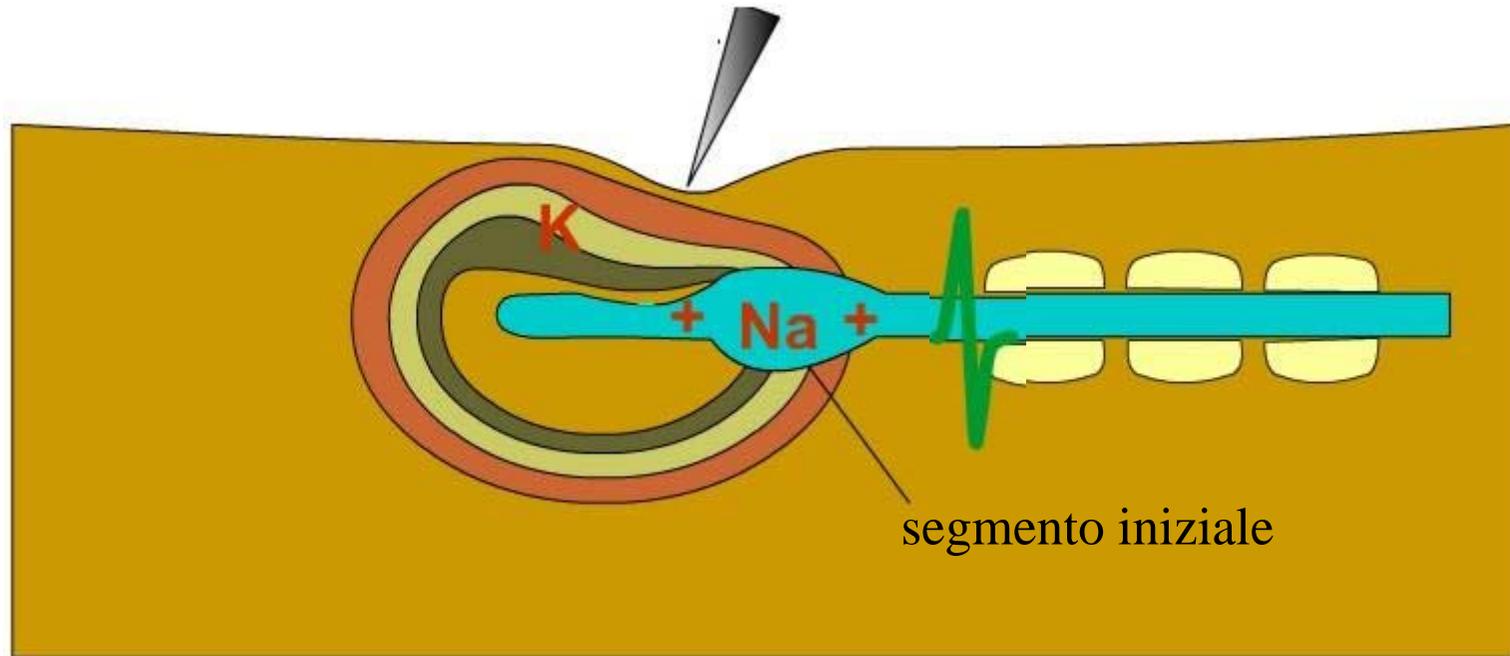
Prendiamo come esempio un *corpuscolo di Pacini*

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

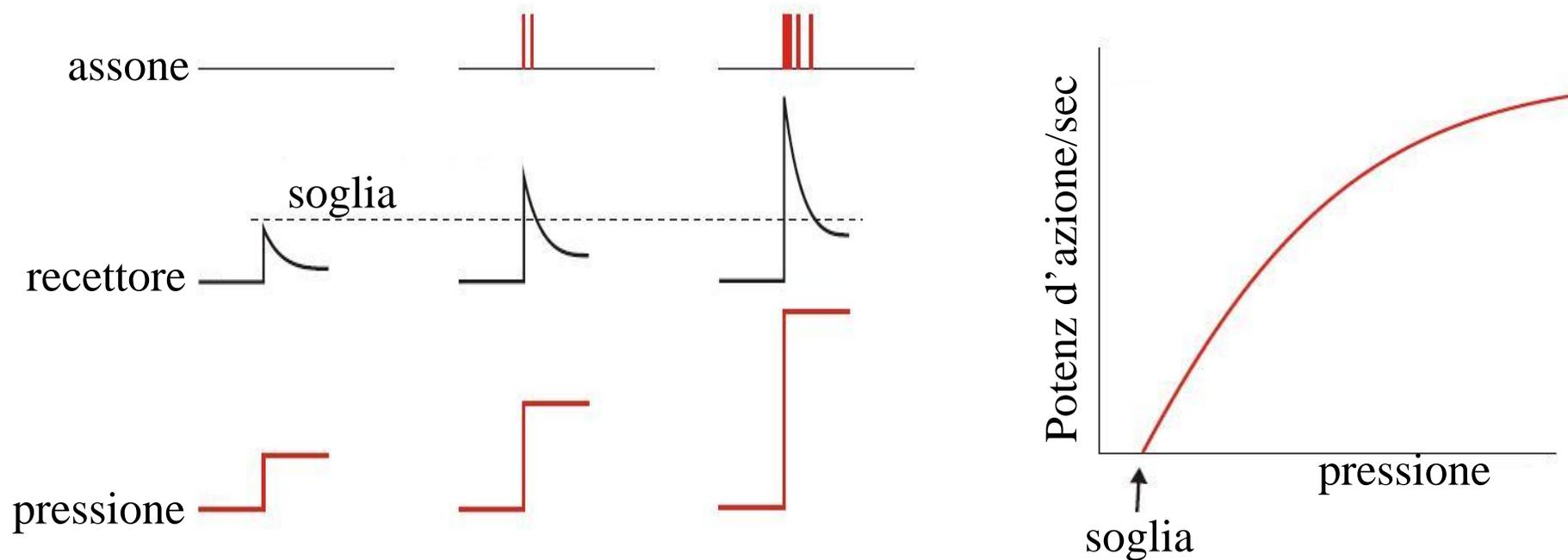
2^a fase: si aprono dei canali cationici, il Na⁺ entra e si depolarizza il recettore



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



Come viene codificata l'ampiezza dello stimolo?



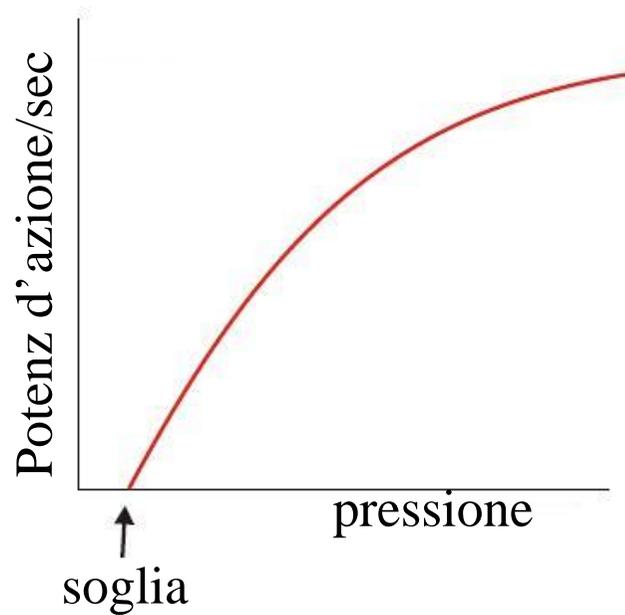
i) Mediante una codificazione in frequenza:

Maggiore è la pressione tanto più il recettore depolarizza, tanto maggiore è il numero di potenziali d'azione /secondo che sono generati. Per questo a livello dell'encoder sono necessari canali K_A

ii) Dal numero di fibre reclutate:

Tante più fibre nervose raggiungono la soglia quanto maggiore è la pressione applicata

Saturazione

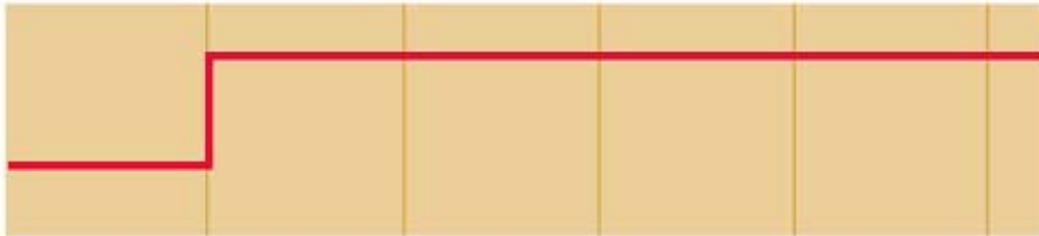


Notare che la relazione tra il numero di potenziali d'azione per secondo (frequenza) e la pressione è non lineare: tende a saturare per pressioni elevate.

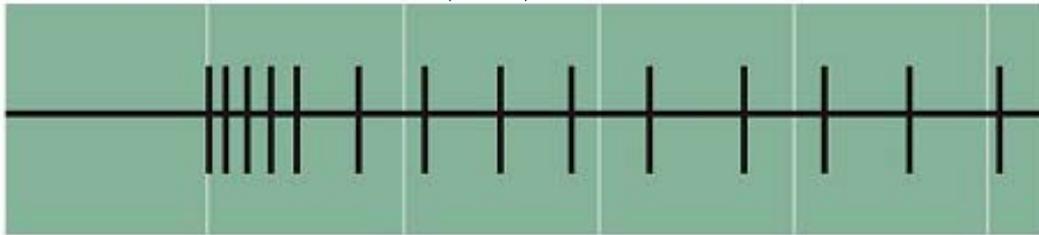
Pertanto il cambiamento nel n. di PdA/sec tra 1 e 2 gm è più grande che tra 100 e 101 gm.

Adattamento nei meccanocettori

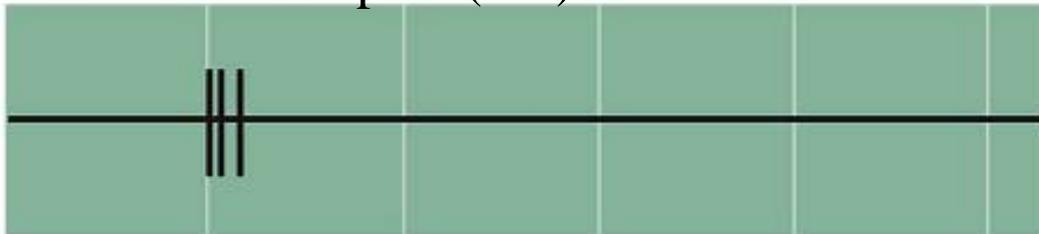
Stimolo



Adattamento lento (AL)



Adattamento rapido (AR)



0 1 2 3 4

Con l'adattamento il numero di PdA/s si riduce nel tempo.

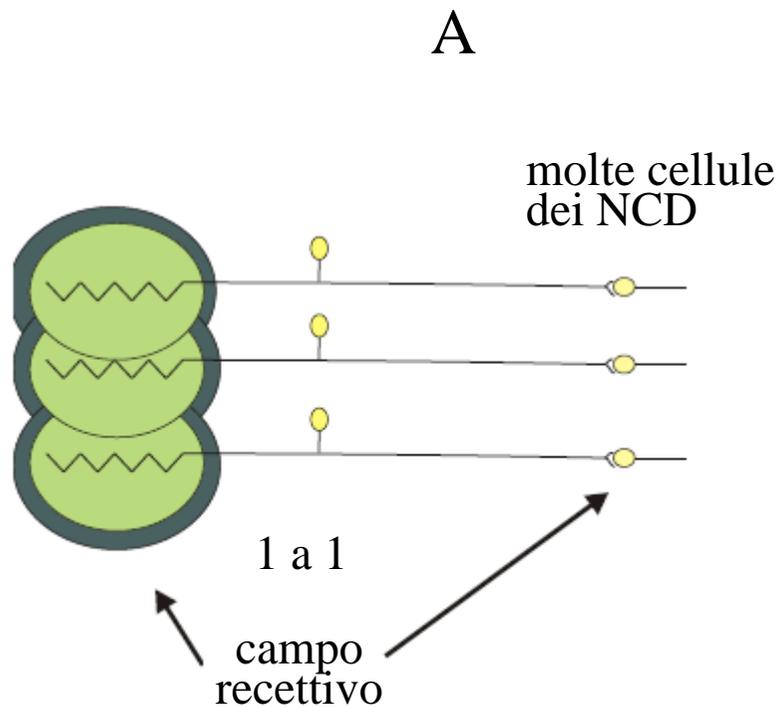
Ciò avviene in parte perché si adatta il potenziale del recettore a causa di modificazioni meccaniche, e in parte per la presenza a livello dell'encoder di canali del K^+ Ca^{2+} -attivati.

L'adattamento aumenta la percezione dei cambiamenti di pressione.

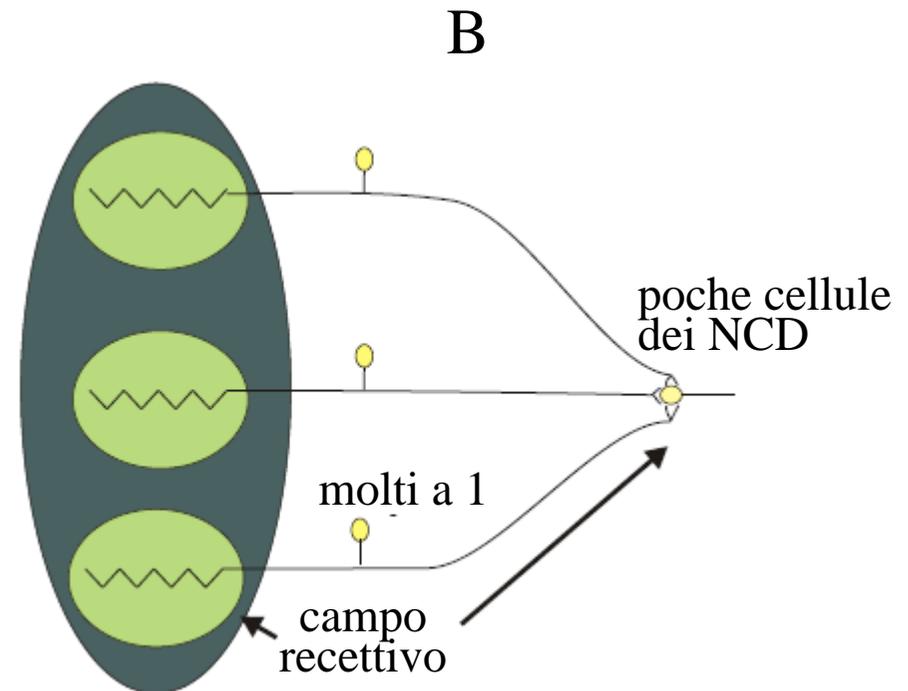
Così, ad es., la pressione costante degli abiti sul corpo non viene quasi più percepita.

Definizione di **campo recettivo** di un neurone

è quell'area recettoriale la cui stimolazione fa aumentare (in certi casi diminuire) la frequenza di scarica del neurone stesso



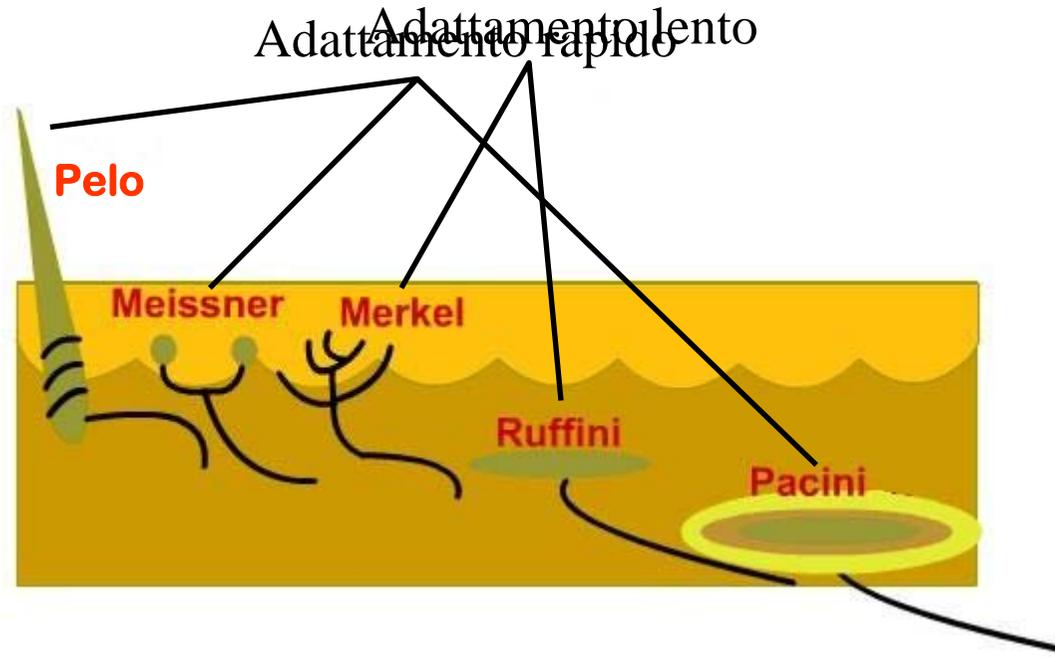
Campo recettivo piccolo
⇓
grande discriminazione tattile



Campo recettivo grande
⇓
bassa discriminazione tattile

NCD ≡ **Nuclei delle colonne dorsali**

Esistono recettori ad adattamento rapido ed altri ad adattamento lento



Recettori di superficie/piccolo c. r.

Recettori profondi/grande c. r.

<p>AR</p>	<p>Recettori piliferi o Recettori del Meissner La sensazione è quella di una vibrazione localizzata Usati per riconoscere la composizione di un oggetto</p>	<p>Corpuscoli del Pacini Attivati da vibrazioni diffuse – ad es. il tocco della punta di una matita</p>
<p>AL</p>	<p>Dischi del Merkel Usati per la percezione fine dei bordi delle superfici</p>	<p>Corpuscoli del Ruffini Attivati dallo stiramento della pelle – usati per segnalare la posizione delle articolazioni delle dita</p>

Esperimento di percezione della struttura di un oggetto



Prendete due fogli di carta vetro di ruvidità diversa
Sfregando la punta delle dita sulla superficie potete facilmente distinguere quale dei due fogli è più ruvido.

Lo sfregamento è necessario per attivare i recettori del Meissner ad adattamento rapido.

Lo sfregamento produce vibrazioni quando i grani passano ripetitivamente su ciascun recettore.

I recettori del Meissner hanno piccoli campi recettivi e quindi una discriminazione spaziale fine.



Adesso piazzate la punta delle dita stabilmente su ciascun foglio.

Noterete che è più difficile stabilire quale è il più ruvido.
Ciò perché i recettori del Meissner si adattano rapidamente a una pressione stabile.

Come fa il cervello a determinare di quale tipo di stimolo si tratta?

Risposta di una fibra afferente che manda un segnale al cervello.

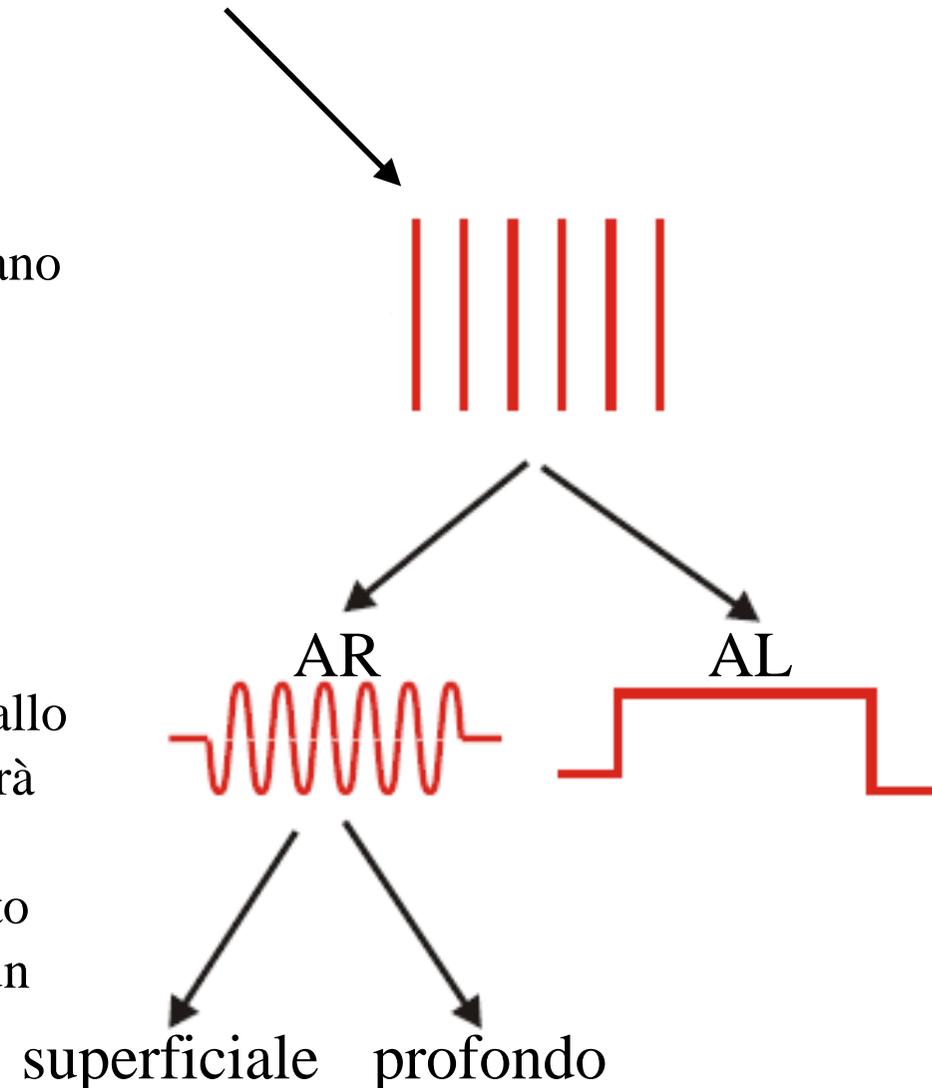
Qual è lo stimolo?

Se la fibra afferente è ad AR, allora lo stimolo sarà percepito come una vibrazione (infatti queste fibre necessitano di una attivazione ripetuta per generare una risposta tonica).

Se la fibra afferente è ad AL, allora lo stimolo sarà percepito come una una pressione mantenuta.

Se la fibra afferente attivata proviene dallo strato superficiale, allora lo stimolo verrà percepito come un leggero tremito.

Se la fibra afferente proviene dallo strato profondo, allora verrà percepito come un ronzio diffuso profondo.

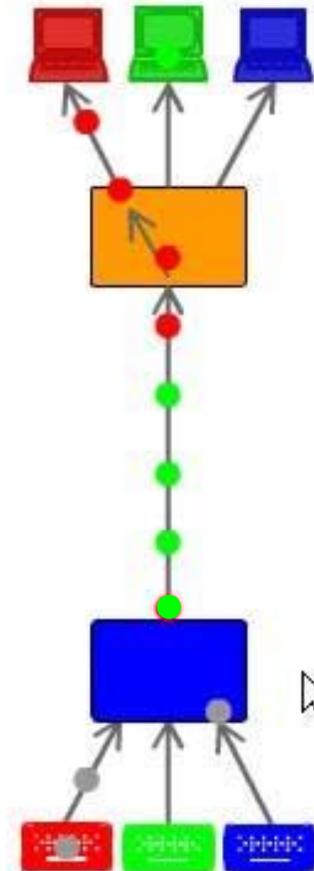


Pertanto il cervello non può riconoscere lo stimolo solo in base alla risposta.
Il cervello deve sapere quale fibra afferente sta producendo quella risposta.

Il senso del tatto risolve questo problema in un modo diverso.

A ciascun tipo di sensore tattile viene data una linea separata. Questa è chiamata la sua linea etichettata. In questo modo non c'è bisogno di codificare e decodificare il pacchetto di informazione.

Per questo però il midollo spinale necessita di tantissime linee.



In internet un messaggio viaggia, assieme a molti altri, lungo un'unica linea comune. Per separare i vari messaggi, ciascuno viene fornito di un'etichetta. Alla fine un decodificatore separa i vari messaggi.

Specificità delle vie afferenti sensitive

Affinchè il cervello sappia che uno stimolo è una vibrazione proveniente dalla superficie cutanea, deve sapere (cioè etichettare) quale tipo di fibra afferente è stata attivata (ad es., una fibra afferente di superficie ad AR.).

Attraverso l'esperienza, ciascun input afferente al SNC viene marchiato con un'etichetta (ad es., recettore di superficie ad AR).

Percepriamo uno stimolo come vibrazione dalla superficie della pelle a causa dell'etichetta appiccicata alla fibra attivata.

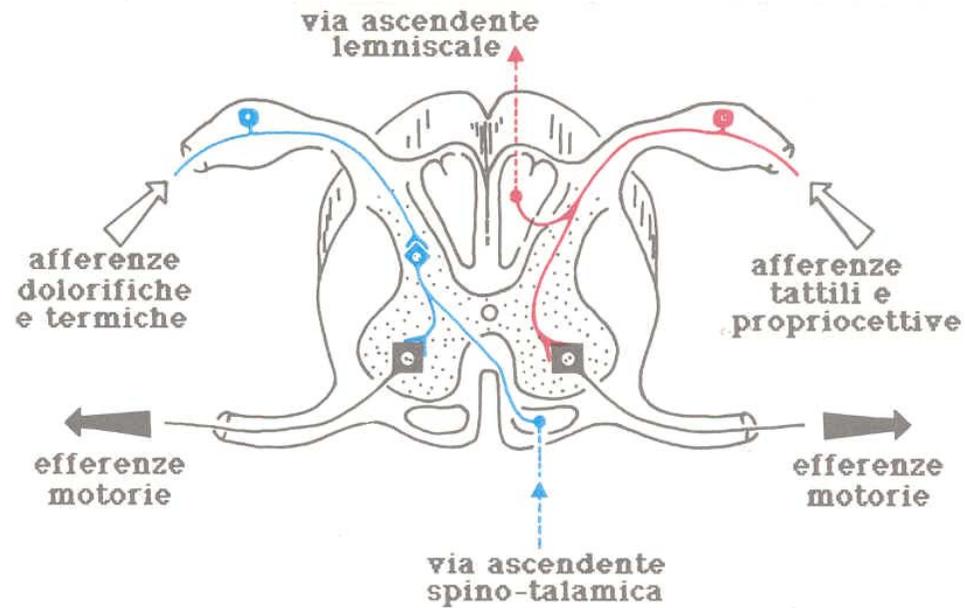
Esistono classi di fibre distinte per ogni tipo di sensibilità

Gruppo	Diametro (μ)	Velocità (m/sec)	Sensibilità	
A	α	12-20	70-100	Propriocettiva
	β	5-12	30-70	Propriocettiva. Tatto-pressoria
	γ	3-5	15-30	Tattile (*)
	δ	2-3	5-15	Tattile (grossolana). Termica (freddo) Dolore rapido (puntorio)
C	0,2-1	0,5-2	Termica (caldo). Dolore ritardato (profondo)	

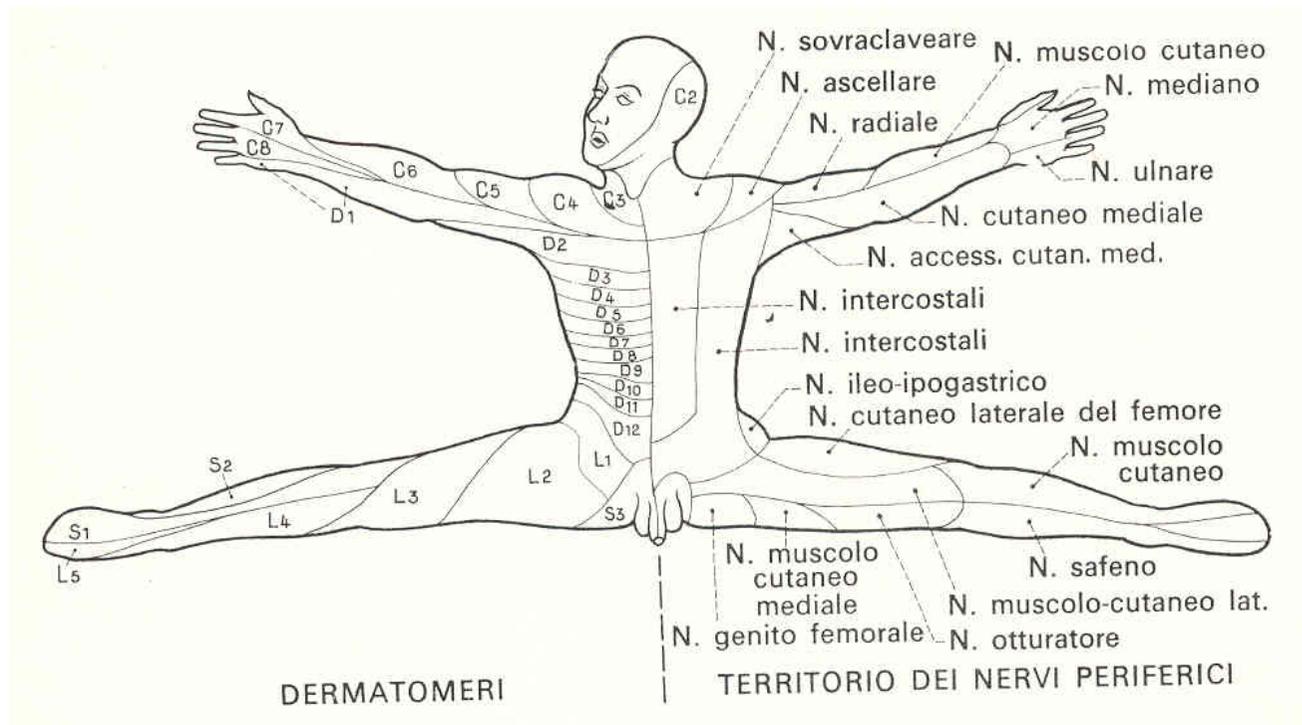
A \Rightarrow fibre mieliniche

C \Rightarrow fibre amieliniche

Nel midollo spinale le diverse vie della sensibilità entrano attraverso le corna dorsali e sono variamente distribuite

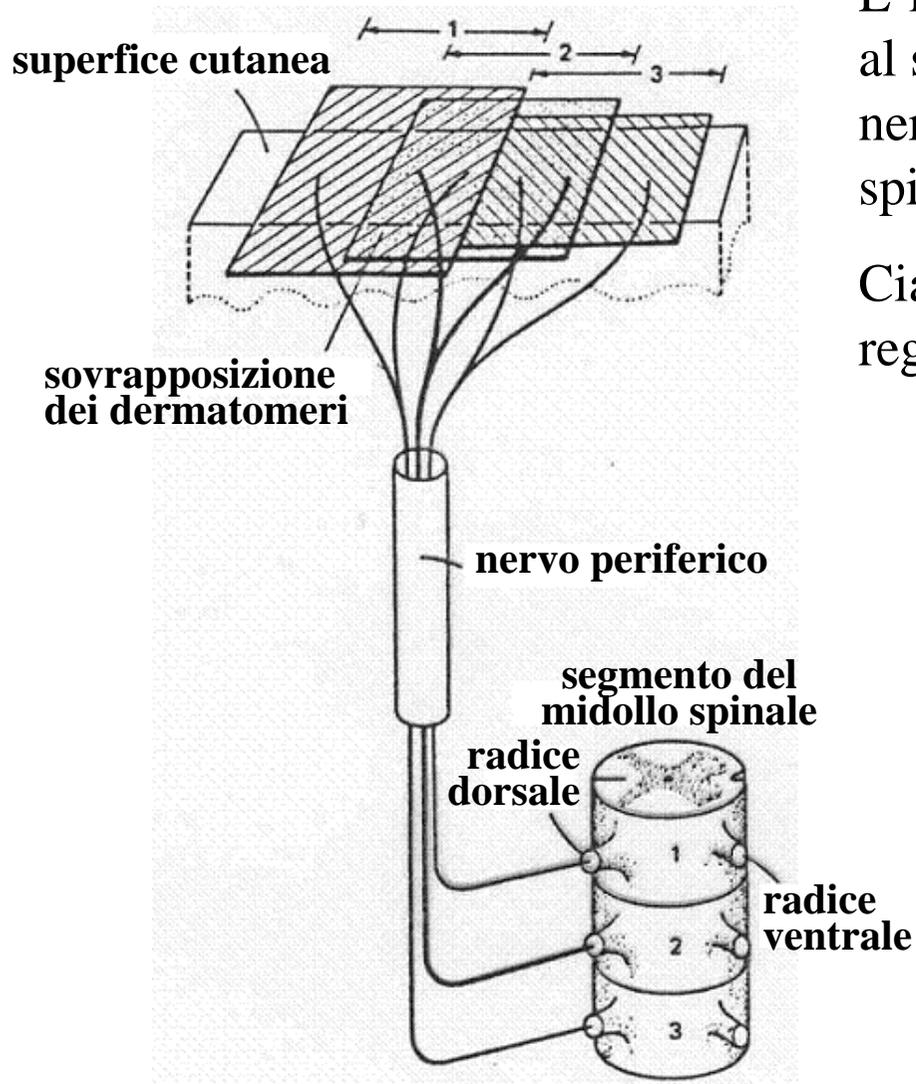


L'area cutanea innervata da una singola radice dorsale viene chiamata **dermatomero**



www.fisiokinesiterapia.biz

Relazione tra aree della pelle innervata dai nervi periferici e le radici dorsali del midollo spinale



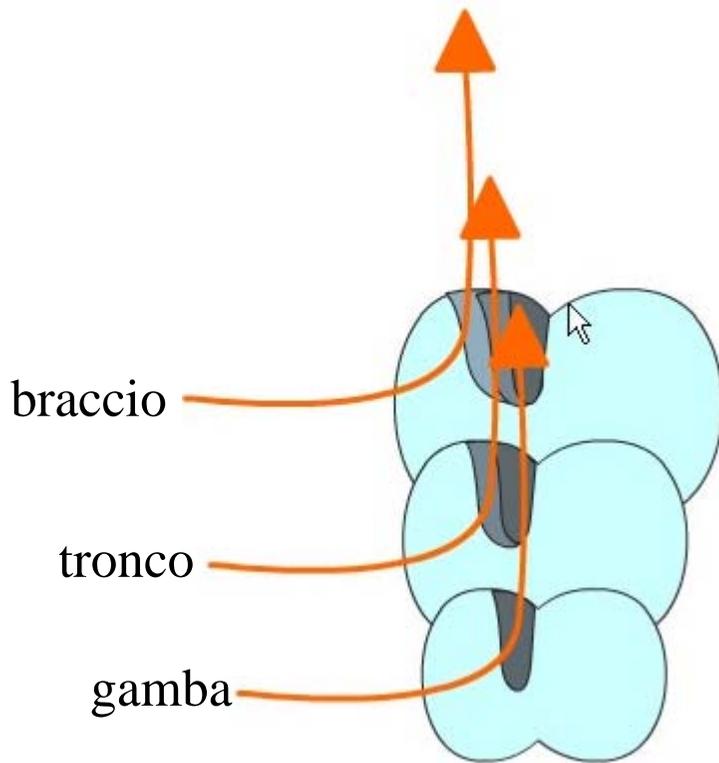
L'informazione dalla periferia è trasmessa al sistema nervoso tramite fasci di fibre nervose afferenti che entrano nel midollo spinale tramite le radici dorsali.

Ciascuna radice innerva una ben definita regione periferica

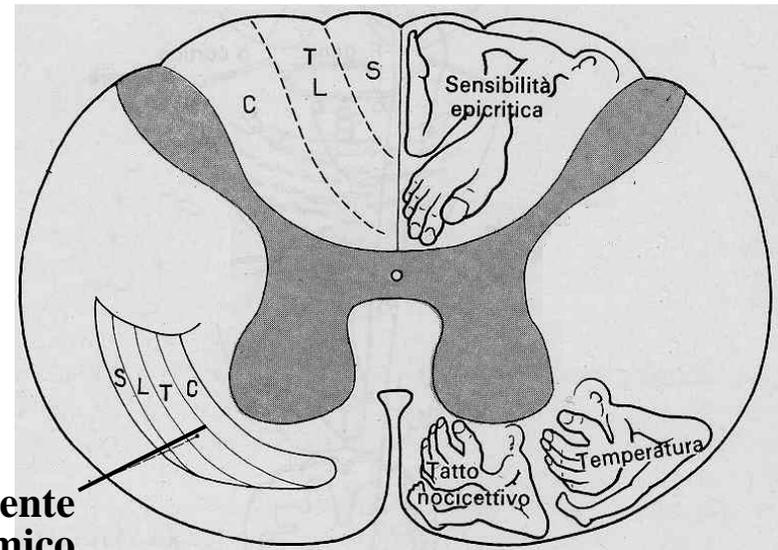
Disposizione somatotopica dei principali fasci ascendenti del midollo

Nel midollo spinale, le colonne dorsali (vie lemniscali) e ventro-laterali (vie spino-talamiche) hanno una organizzazione somatotopica.

Nei segmenti più in basso, si trovano le afferenze dalle gambe. Spingendosi più in alto lungo il midollo spinale nuove afferenze entrano lateralmente.



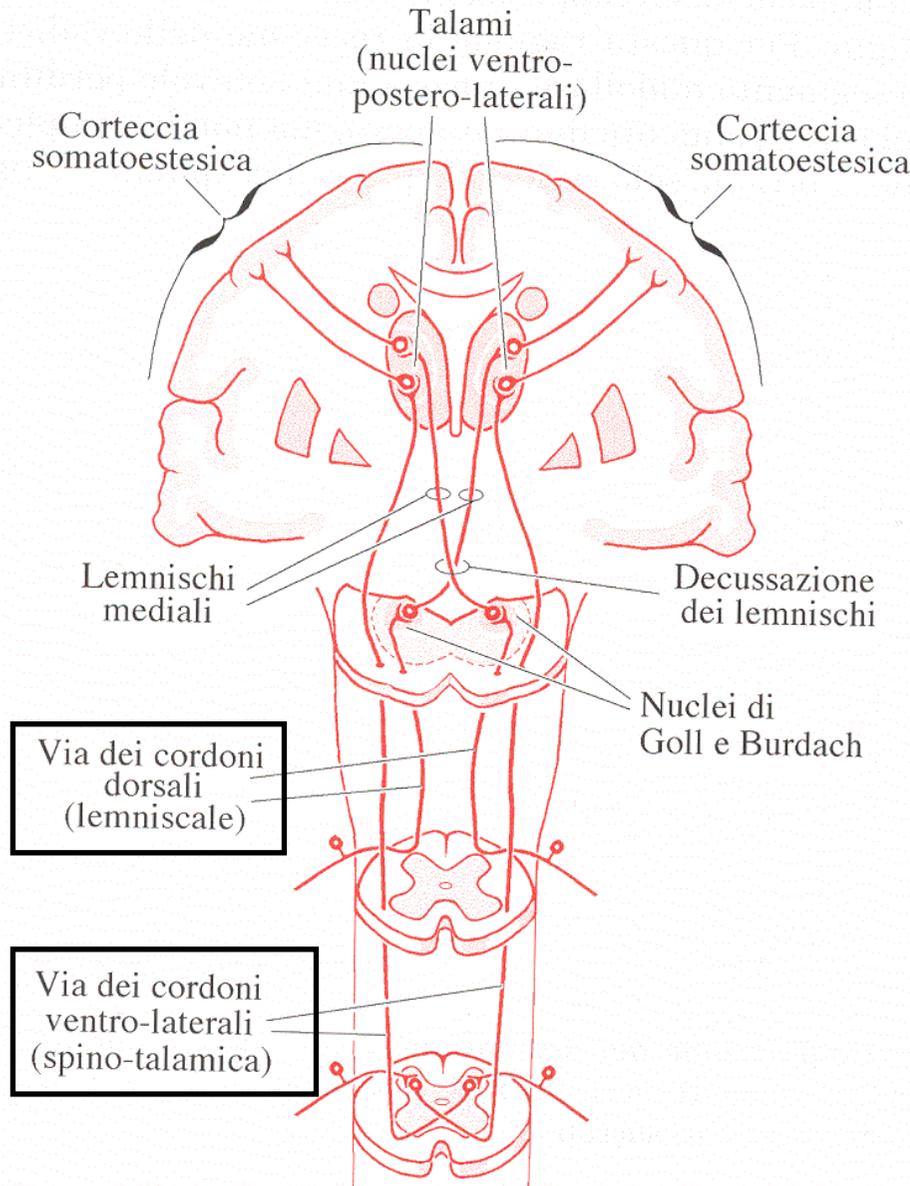
Fascicoli gracile e cuneato (vie ascendenti lemniscali)



Fascio ascendente spino-talamico

Le vie della sensibilità somatica

L'informazione somatosensitiva viene ritrasmessa alla corteccia da due principali sistemi ascendenti:



A) Via dei **cordoni (colonne) dorsali** (o dei **lemnisci mediali**)

È la via della sensibilità propriocettiva, vibratoria, tattile e pressoria fine

Decorso: sostanza bianca del MS dorsale ⇒ nuclei di Goll e Burdach del bulbo (decussazione dei lemnischi) ⇒ nuclei ventrali del talamo ⇒ area somatosensitiva primaria della corteccia

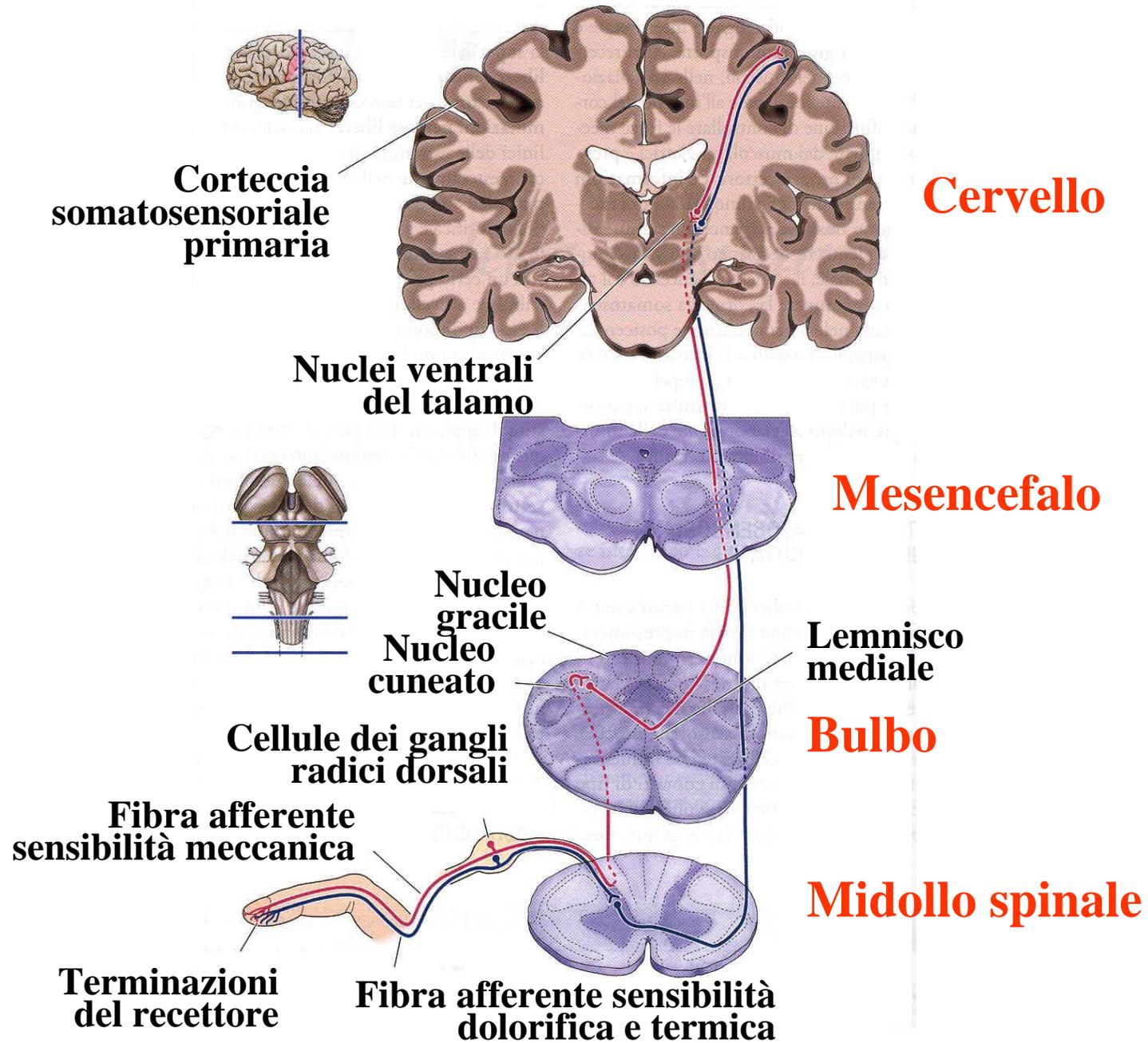
Neurotrasmettitore: glutamato

B) Via dei **cordoni (colonne) ventro-laterali** (o **spino-talamici**)

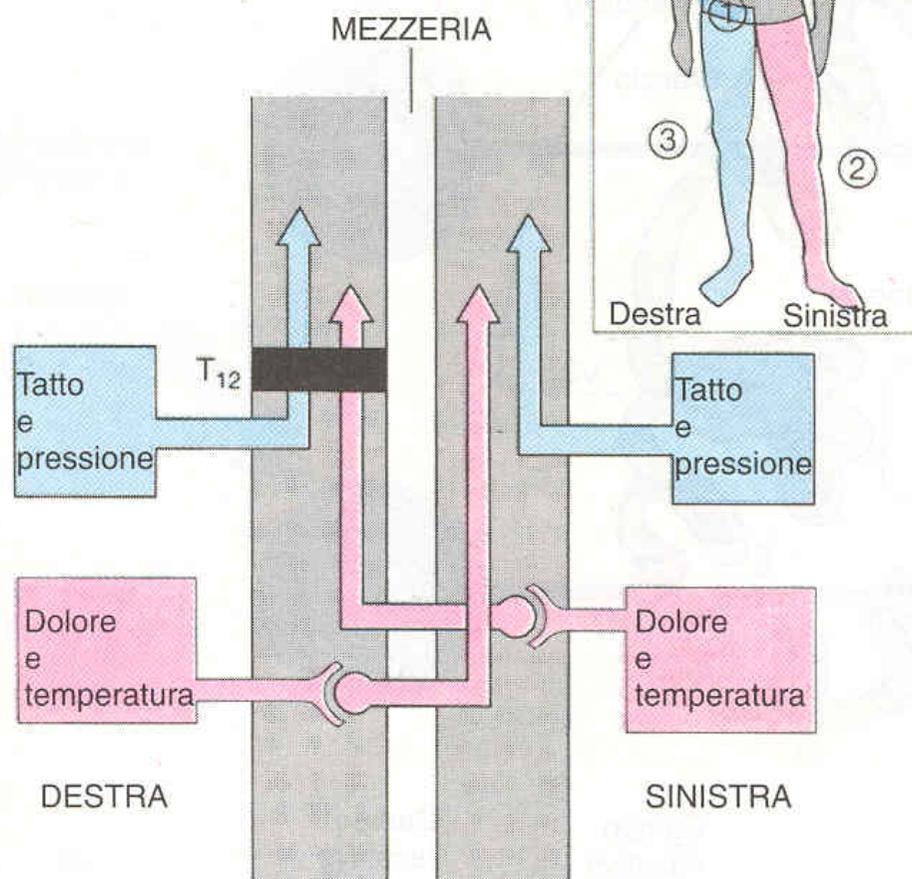
È la via della sensibilità termica, dolorifica e pressoria grossolana

Decorso: sostanza bianca del MS ventro-laterale (previa decussazione) ⇒ nuclei ventrali del talamo ⇒ area somatosensitiva secondaria corticale

Organizzazione generale del sistema della sensibilità somatica



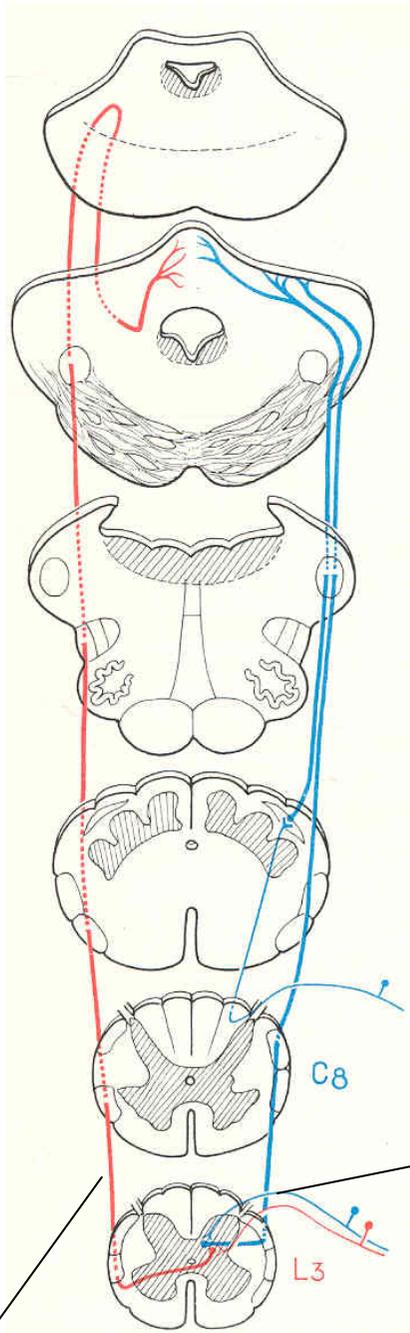
- ① Perdita di tutte le sensibilità
- ② Perdita delle sensibilità dolorifica e termica
- ③ Perdita delle sensibilità tattile e vibratoria
- ④ Sensibilità conservate



Conseguenze di una lesione midollare

Un danno interessante il midollo nella parte **destra** del corpo all'altezza della **cintola** determina;

- A) perdita della sensibilità termica e dolorifica nella gamba di sinistra,
- B) perdita delle sensibilità tattile e vibratoria nella gamba di destra



Esistono inoltre vie spinali della sensibilità propriocettiva incosciente che arrivano al cervelletto:

A) La via spino-cerebellare diretta o di Flechsig

Raccolgono la sensibilità propriocettiva del tronco

Decorso: sostanza bianca del MS dorsale \Rightarrow peduncolo cerebellare inferiore \Rightarrow paleocerebellum

B) La via spino-cerebellare crociata o di Gowers

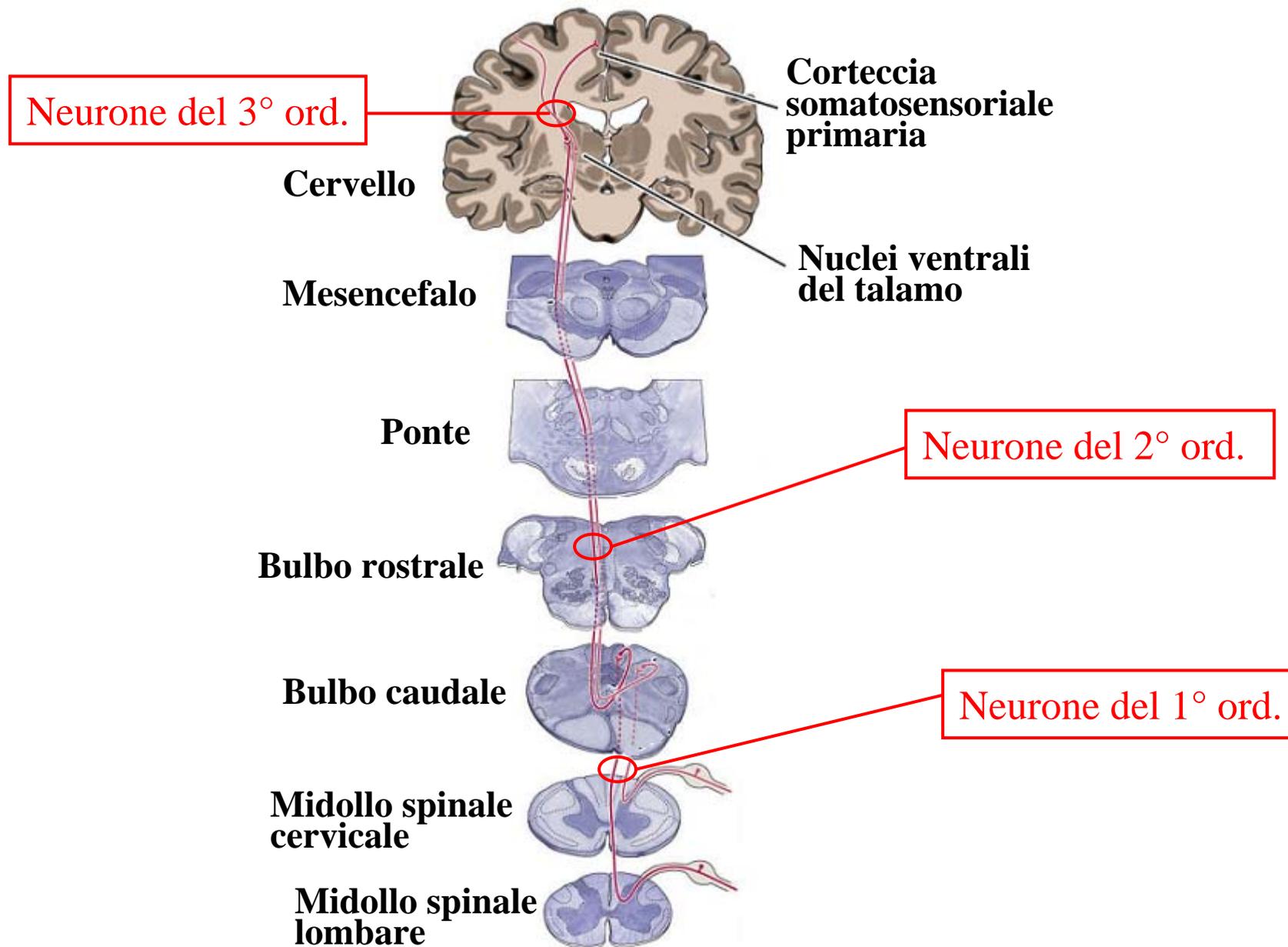
Raccolgono la sensibilità propriocettiva degli arti

Decorso: sostanza bianca del MS ventrale \Rightarrow peduncolo cerebellare superiore \Rightarrow paleocerebellum

f. spino-cerebellare diretto

f. spino-cerebellare crociato

Regola generale: l'organizzazione funzionale ed anatomica delle reti di processamento sensoriale è **gerarchica**



La sensibilità tattile (discriminazione) varia in funzione della posizione sulla pelle

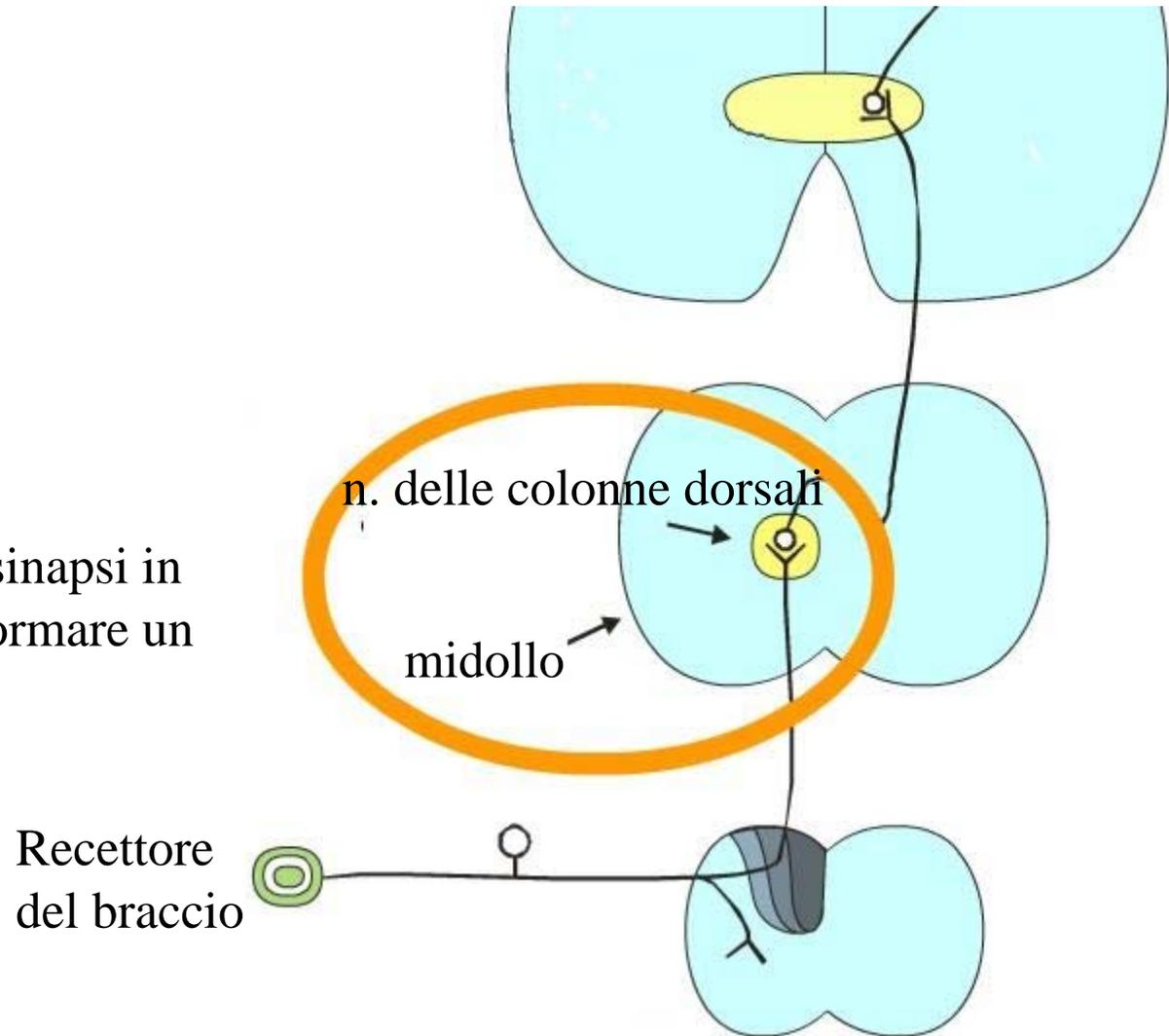
Perchè? Alcuni motivi includono:

- Densità dei recettori
- Dimensione del campo recettivo*
- Sovrapposizione dei campi recettivi
- *In più fattori che coinvolgono un processamento a livelli superiori*

* **Campo recettivo** di un neurone: è quell'area recettoriale la cui stimolazione fa aumentare (in certi casi diminuire) la frequenza di scarica del neurone stesso

A livello dei nuclei delle colonne dorsali i segnali in arrivo vengono elaborati

I neuroni formano sinapsi in un nucleo per trasformare un segnale in arrivo



Ci sono tre distinte trasformazioni che hanno luogo nei nuclei delle colonne dorsali e che coinvolgono i campi recettivi: convergenza, inibizione periferica, gating corticale

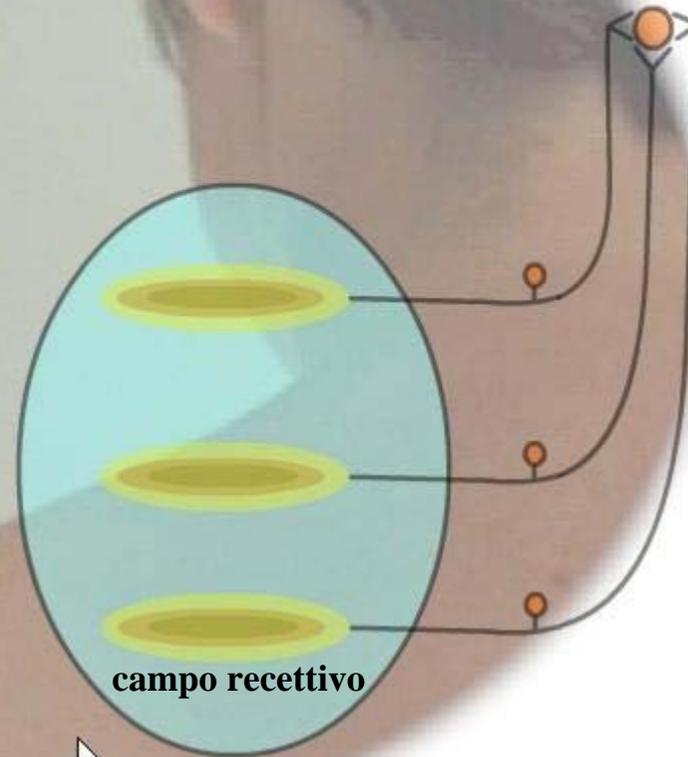
Funzione 1 dei nuclei delle colonne dorsali (NCD): **Convergenza**

Esempio 1

La pelle della schiena ha una bassa densità di fibre afferenti. Molte afferenze convergono su un singolo neurone dei NCD.

Pertanto solo pochi neuroni sono richiesti per rappresentare una certa area della pelle.

La conseguenza è grandi campi recettivi* e bassa discriminazione tattile.



* **Campo recettivo** di un neurone: è quell'area recettoriale la cui stimolazione modifica l'attività di un neurone

Funzione 1 dei nuclei delle colonne dorsali (NCD): **Convergenza**

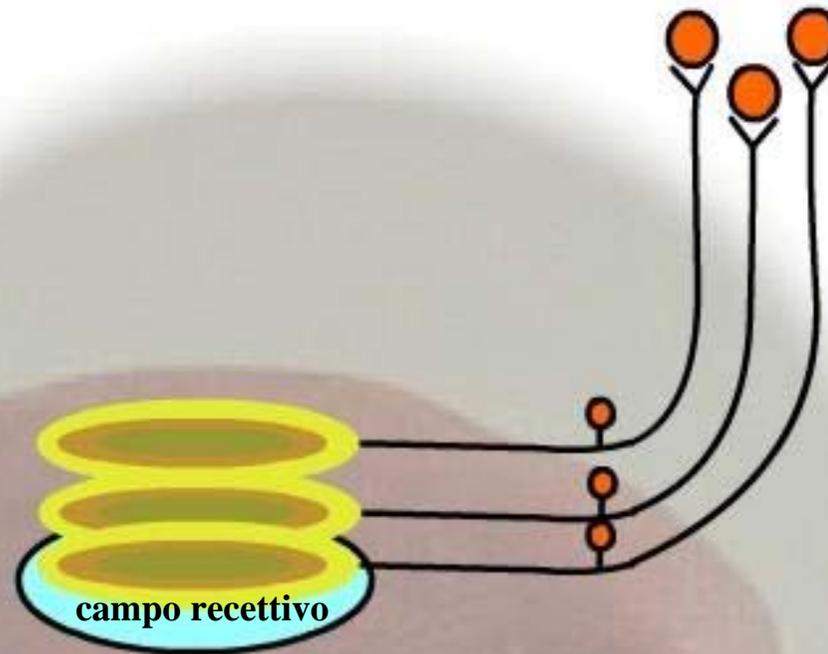
Esempio 2

La pelle della punta del dito ha un'alta densità di fibre afferenti.

Ciascuna fibra afferente ha una bassa convergenza a livello dei NCD.

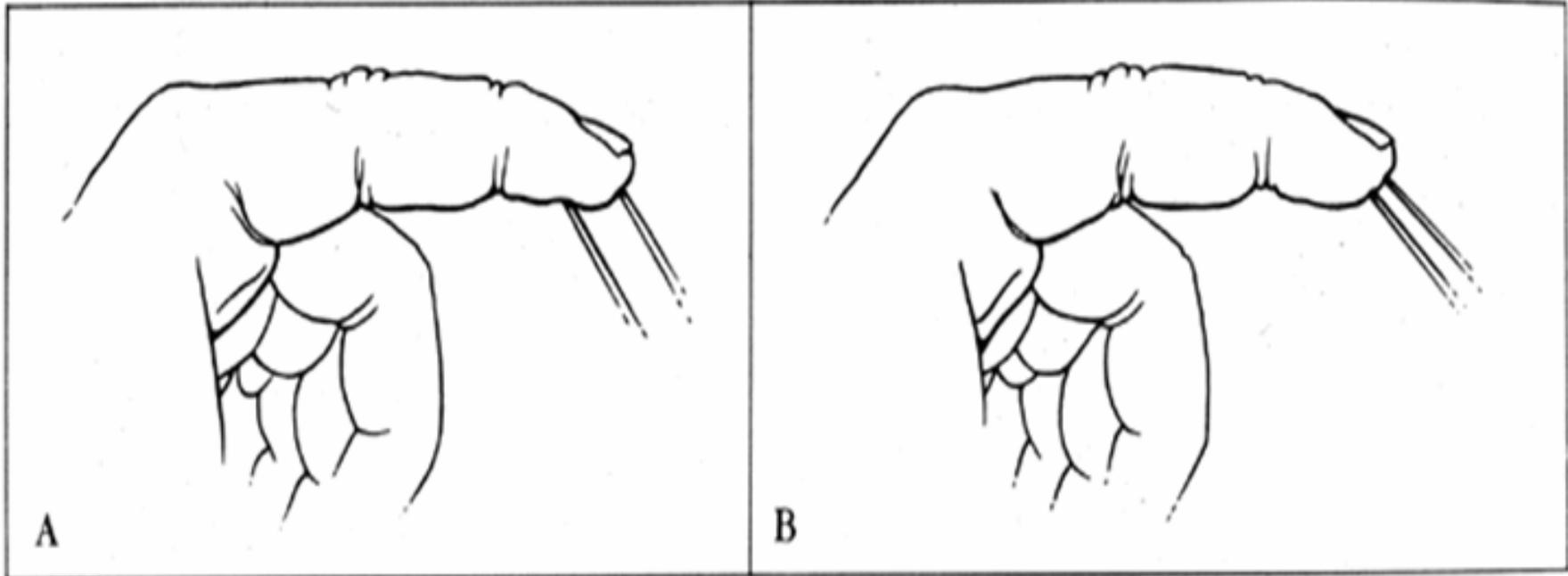
Pertanto molti neuroni sono richiesti per rappresentare una certa area cutanea.

La conseguenza è piccoli campi recettivi* e alta discriminazione tattile.



* **Campo recettivo** di un neurone: è quell'area recettoriale la cui stimolazione modifica l'attività di un neurone

La discriminazione tra due punti è una misura della sensibilità tattile



A: il paziente percepisce il tocco di due stecchi distanti 33 mm come due stimoli distinti.

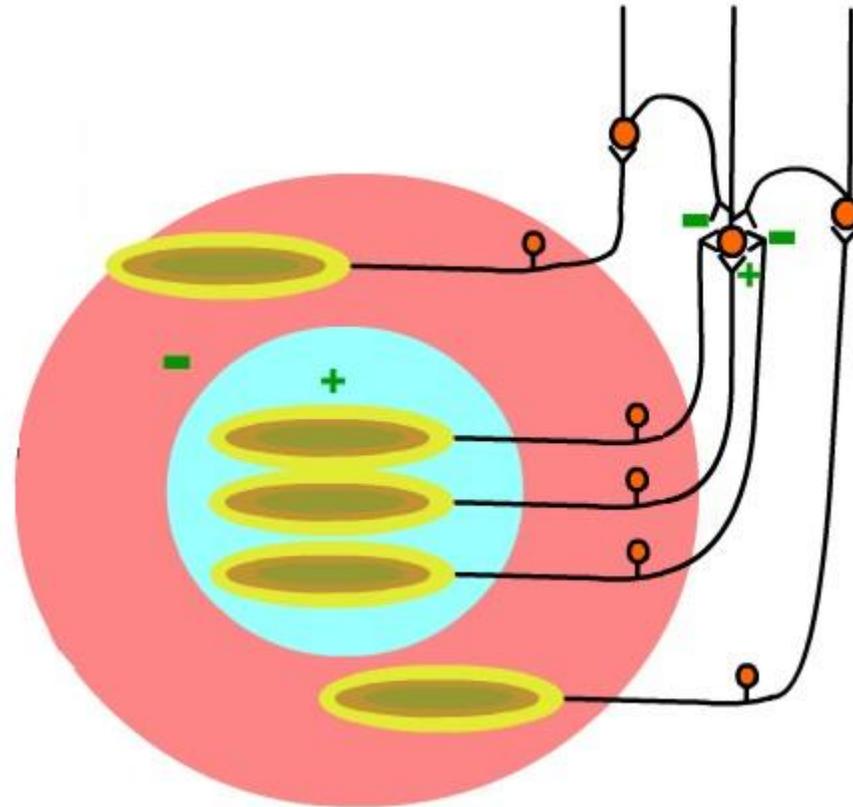
B: quando gli stecchi distano tra di loro meno di 3 mm, il tocco viene percepito come unico.

Funzione 2 dei NCD: **Inibizione circostante** (o periferica)

Uno stimolo al centro attiverà un neurone del NCD, mentre uno stimolo nell'area circostante periferica, tramite un feedback inibitorio, inibirà lo stesso neurone del NCD.

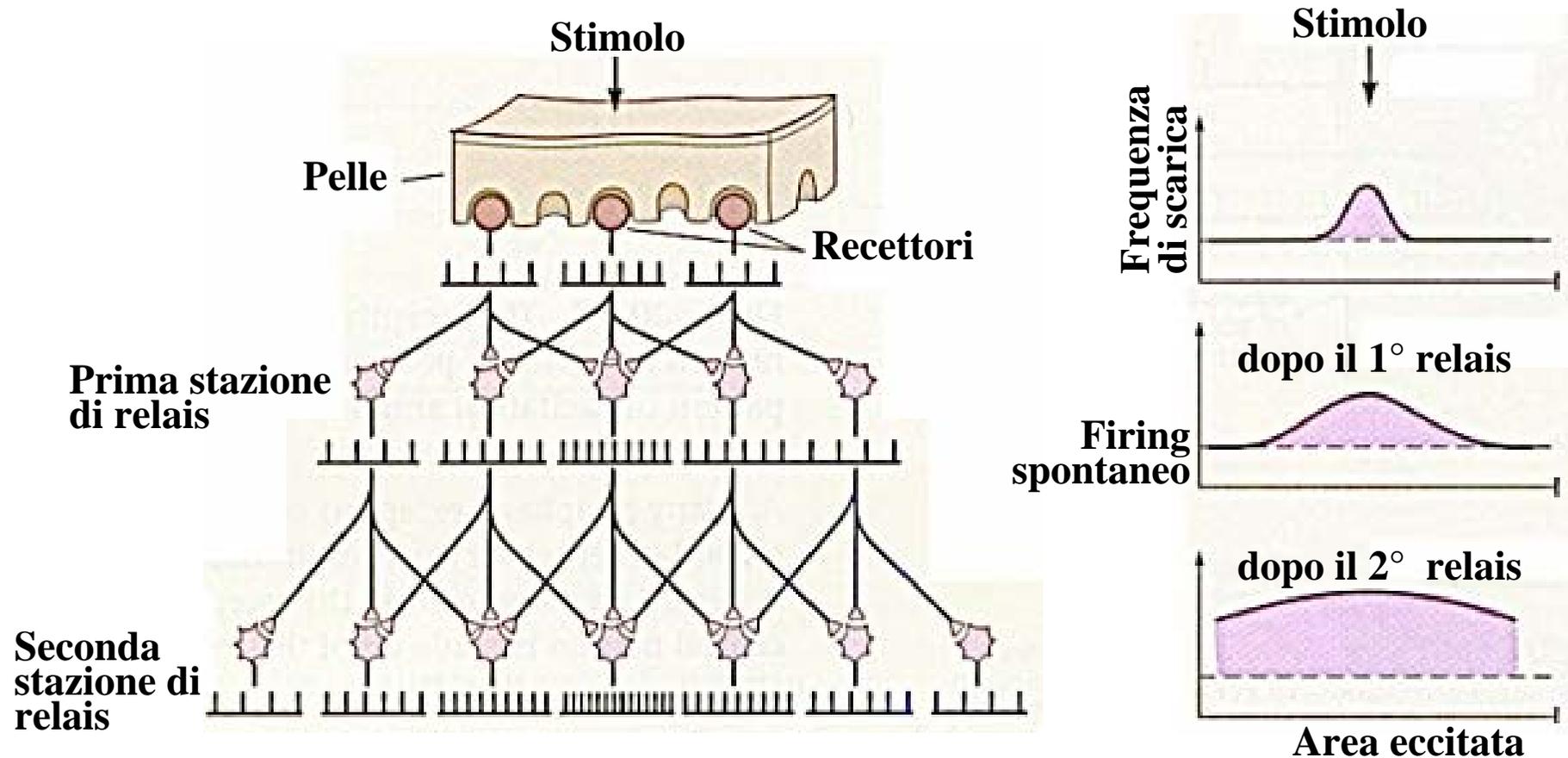
La funzione è quella di accentuare l'attività associata ai bordi di un oggetto.

In questo modo viene anche innalzata la discriminazione tra due punti.



L'inibizione laterale (o reciproca) aumenta il contrasto dello stimolo

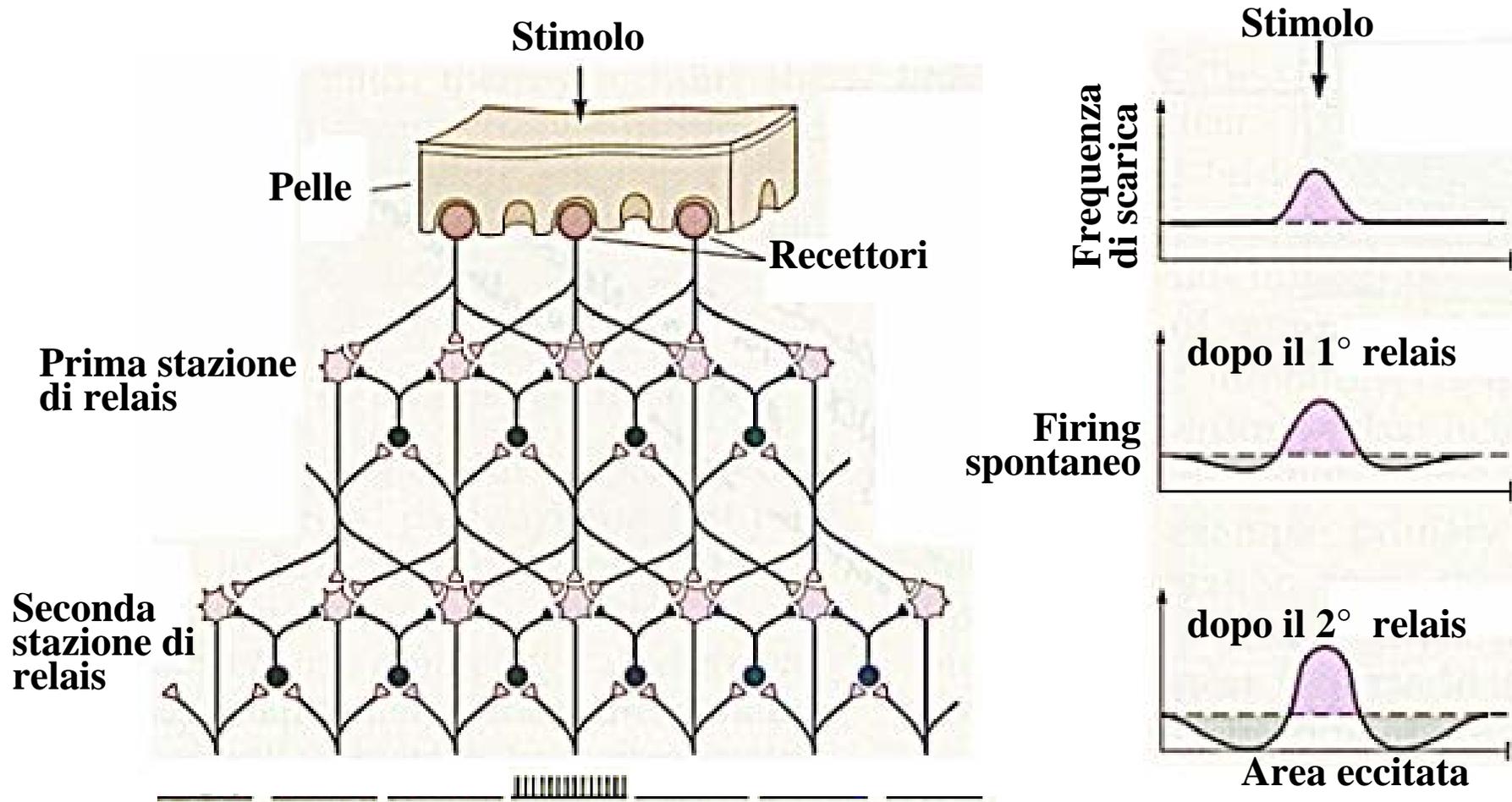
Caso A: assenza di inibizione laterale



1. A livello di ciascuna stazione di relais la cellula di ritrasmissione principale riceve afferenze da molte fibre (convergenza) e quindi ha un campo recettivo più esteso di quello di ogni neurone a monte
2. I neuroni più vicini allo stimolo rispondono più vigorosamente di quelli più distanti

L'inibizione laterale (o reciproca) aumenta il contrasto dello stimolo

Caso B: con inibizione laterale



L'inibizione laterale, dovuta alla presenza di interneuroni inibitori, limita la diffusione dell'eccitamento tra unità adiacenti, creando maggior contrasto tra una zona centrale e la periferia.

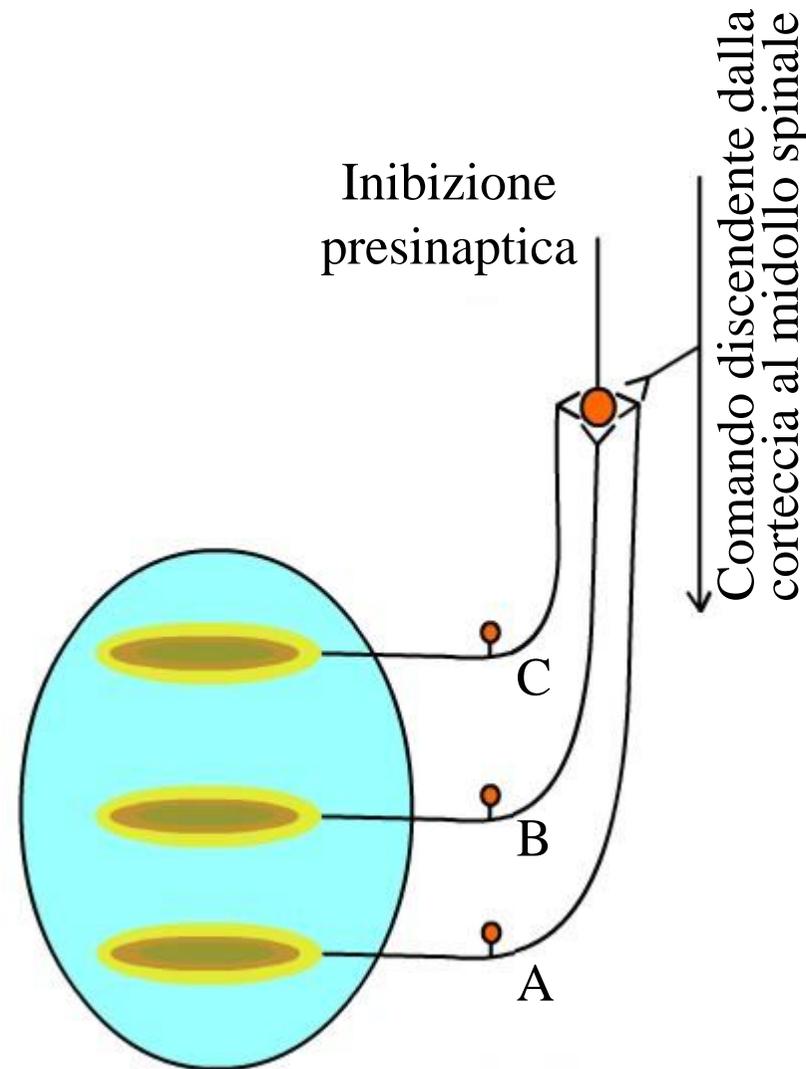
Funzione 3 dei NCD: **Gating corticale**

Una inibizione presinaptica dalla corteccia può selettivamente spegnere lo stimolo proveniente da una delle vie afferenti (A) e quindi permettere una maggiore focalizzazione delle altre vie (B e C).

Perché una inibizione presinaptica?

Una inibizione *postsinaptica* sul neurone del NCD spegnerebbe tutte e tre le vie della figura.

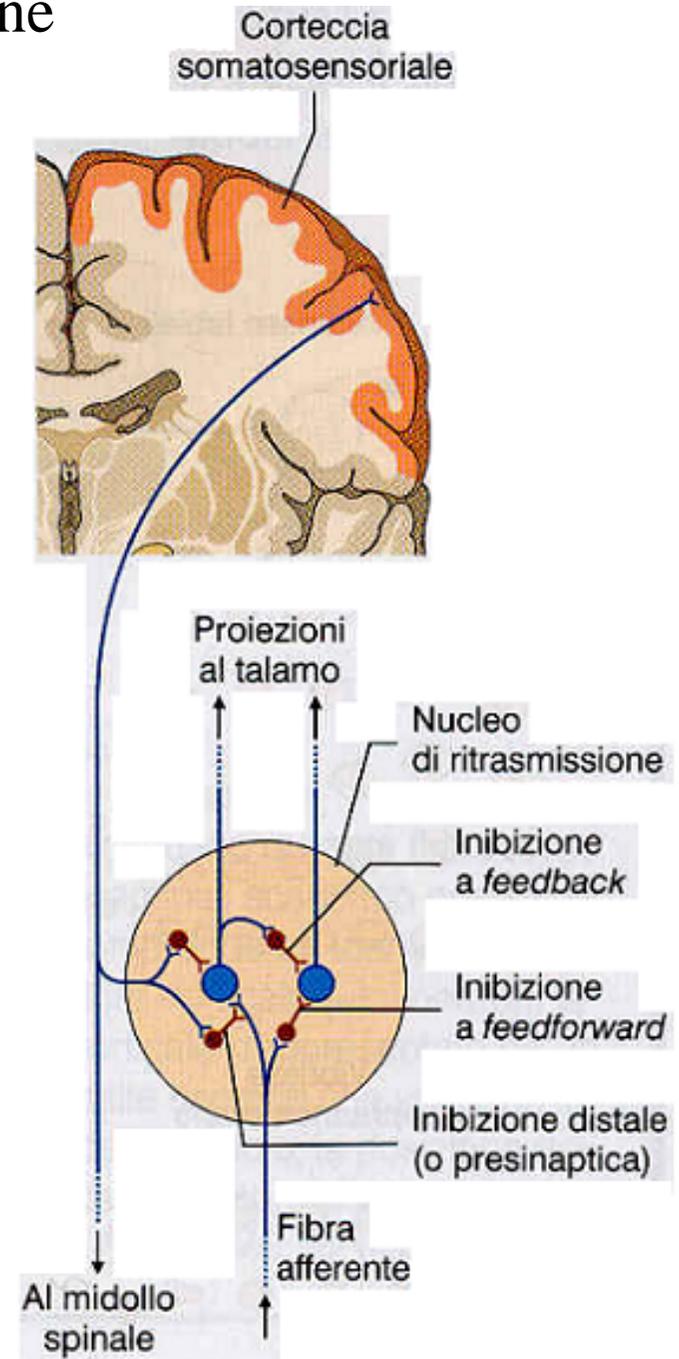
Solo l'inibizione *presinaptica* è selettiva per una sola delle vie.



Aiuta ad identificare la struttura di un oggetto che si sta manipolando. In tal modo si possono ad esempio percepire le afferenze attivate dal tatto inibendo le afferenze attivate dallo stiramento della pelle prodotto dai movimenti.

Riassumendo, esistono tre forme di inibizione dei neuroni dei NCD che contribuiscono all'innalzamento del contrasto.

- L'inibizione di neuroni di proiezione selezionati in un NCD innalza il contrasto tra gli stimoli
 - **Connessioni inibitorie feed forward** da neuroni afferenti (neuroni del 1° ordine) inibiscono le cellule di proiezione adiacenti
 - **Connessione a feedback** da neuroni del 2° ordine possono pure inibire le cellule di proiezione circostanti.
- Neuroni corticali possono modulare la scarica di di cellule di proiezione per **inibizione distale**.



Organizzazione dell'area somatosensitiva corticale



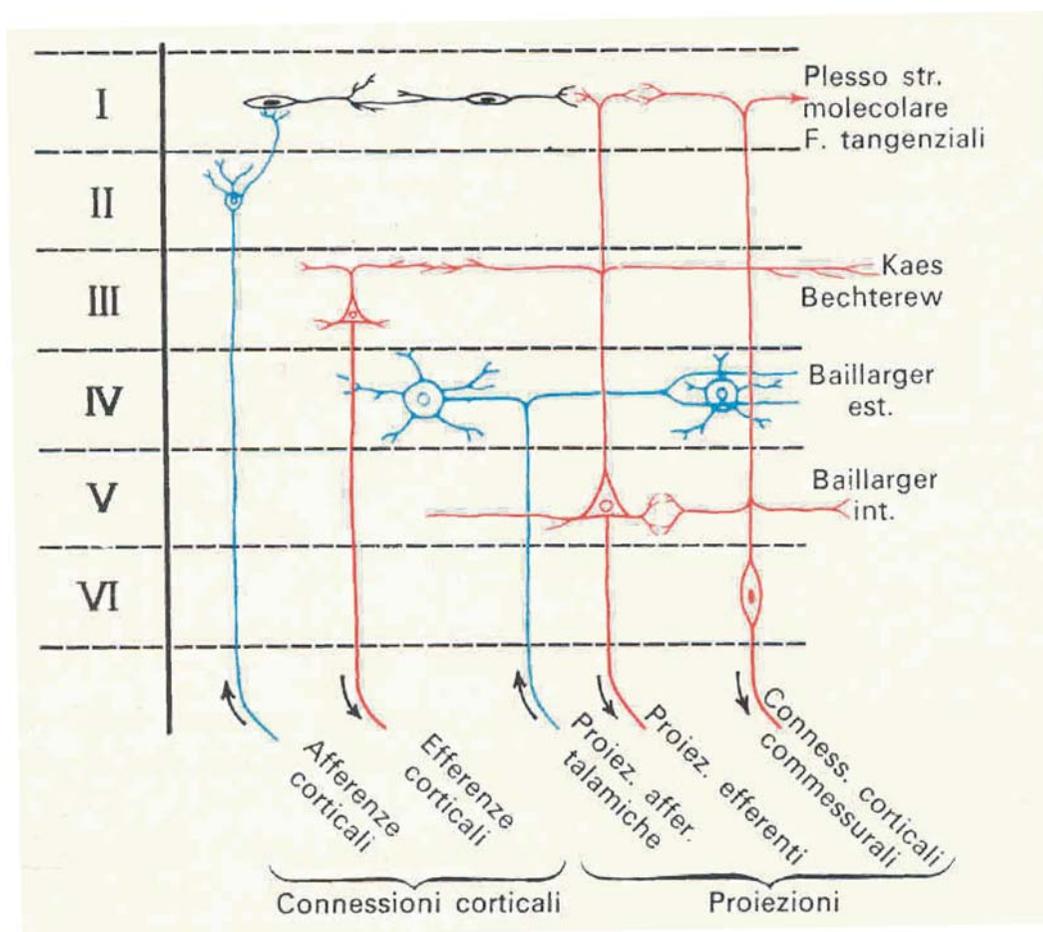
Questo omuncolo somatosensoriale è disegnato per mostrare la disproporzione dell'area corticale dedicata agli input sensoriali

Organizzazione della corteccia

La corteccia cerebrale è costituita da sei strati.

Le afferenze talamiche arrivano al 4° strato.

Le fibre efferenti (motrici) partono dal 5° e 6° strato



Esiste un'organizzazione colonnare dei neuroni con interconnessioni verticali tra i neuroni dei diversi strati

Caratteristica N. 1: Organizzazione somatotopica

Area somatosensitiva primaria

Posta nella regione posteriore alla scissura di Rolando.

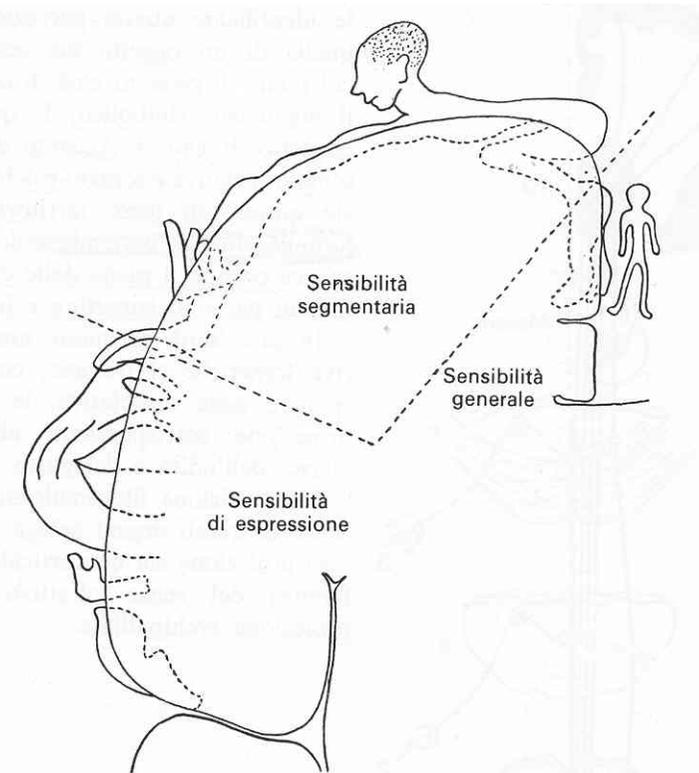
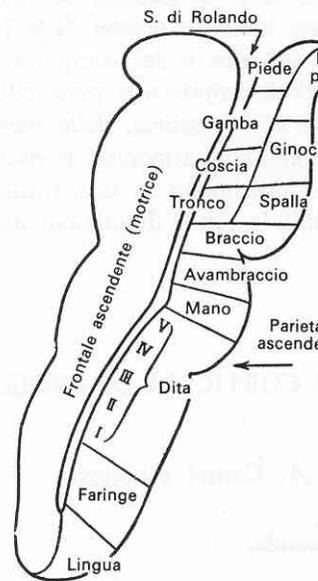
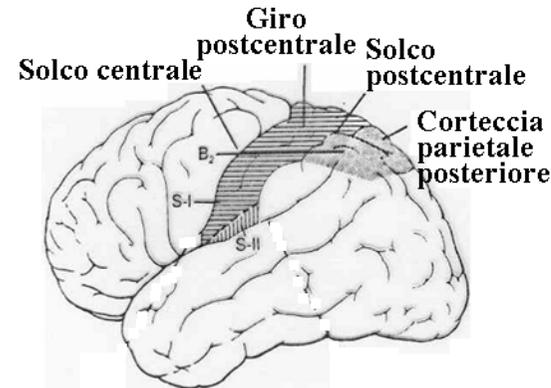
Esiste una rappresentazione somatotopica della superficie corporea. Ad essa afferiscono le vie lemniscali (sensibilità epicritica).

La superficie del corpo giace sequenzialmente giù per il giro postcentrale.

Questa mappa corporea è distorta, Il viso e la punta delle dita hanno rappresentazioni più ampie.

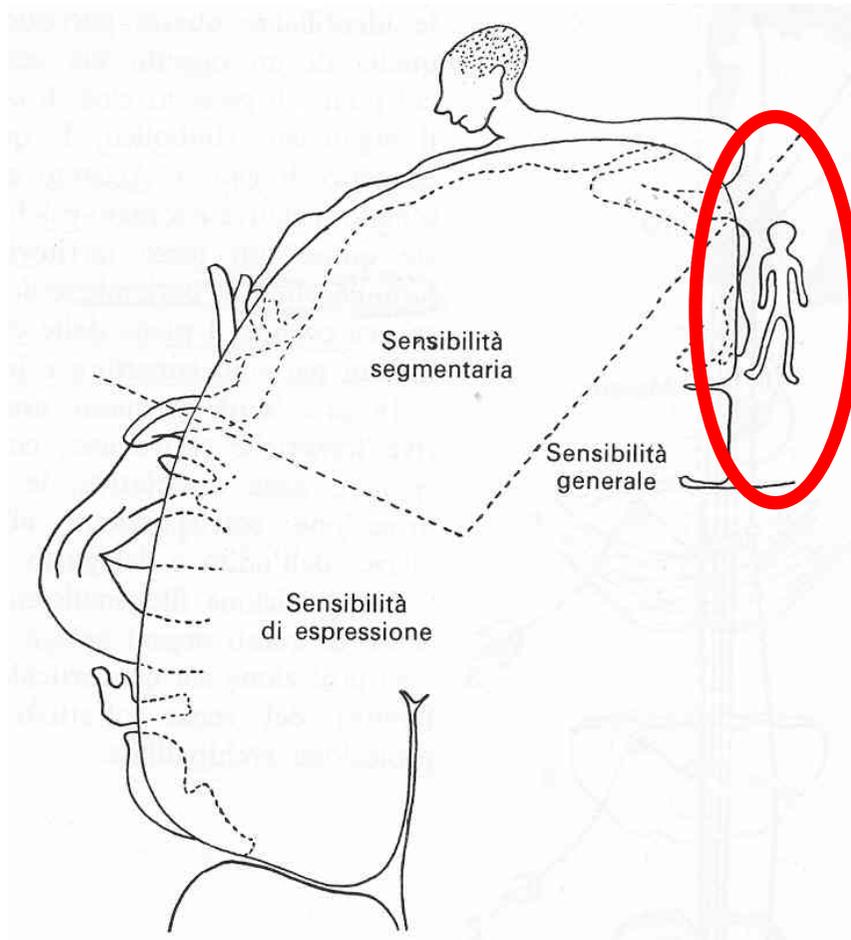
Tale distorsione riflette quella dei nuclei delle colonne dorsali.

La pelle della schiena ha una rappresentazione più piccola a causa dell'alta convergenza (e dei grandi campi recettivi) nei neuroni dei nuclei delle colonne dorsali.



Caratteristica N. 1: Organizzazione somatotopica

Area somatosensitiva secondaria.



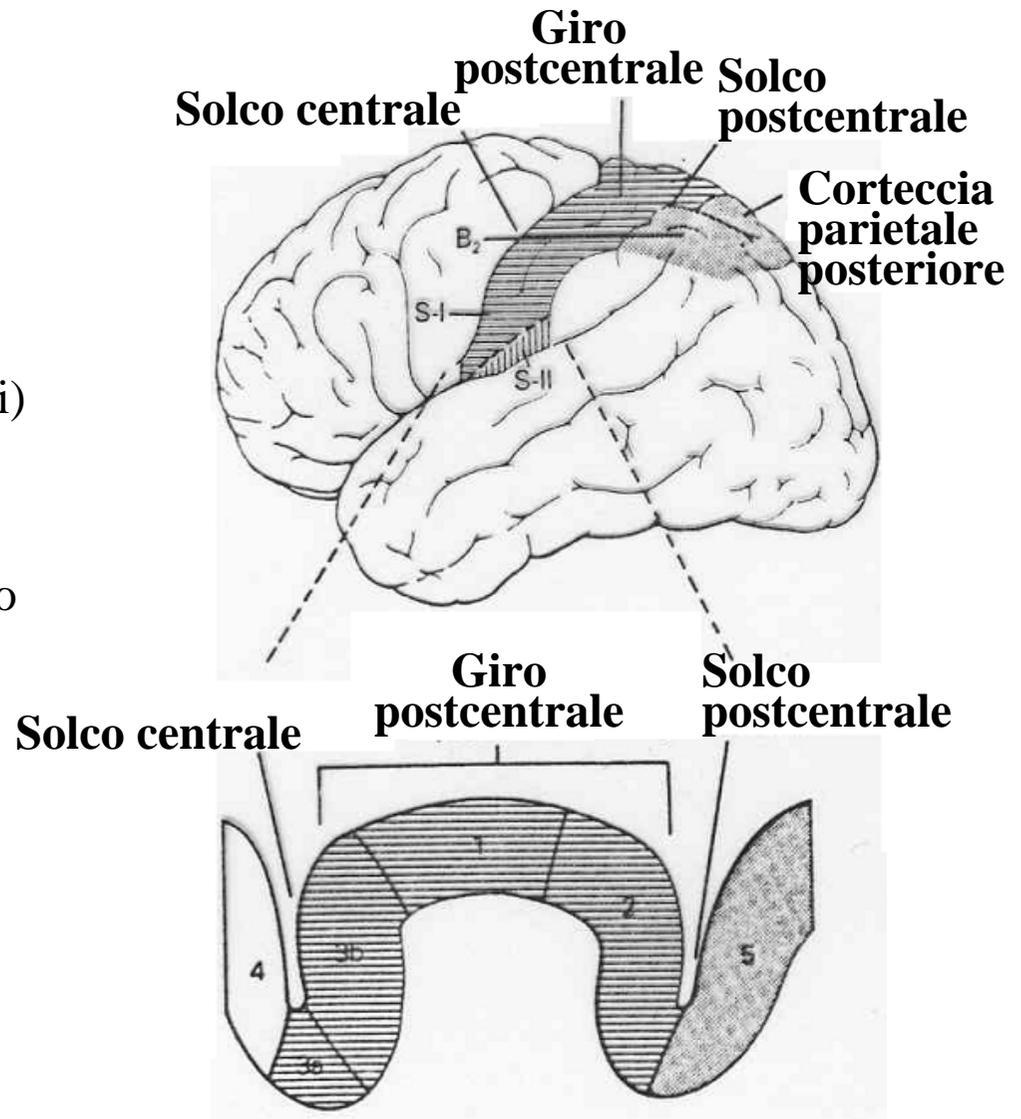
Posta lateralmente all'area somatosensitiva primaria. Ad essa arrivano afferenze spino-talamiche sensibilità protopatica (non discriminativa e grossolana)

Caratteristica N. 2: esistenza di mappe multiple

La corteccia somatosensitiva è suddivisa in 4 strisce parallele: le aree 3a, 3b, 1 e 2.
Pertanto la mappa dell'omuncolo è ripetuta 4 volte

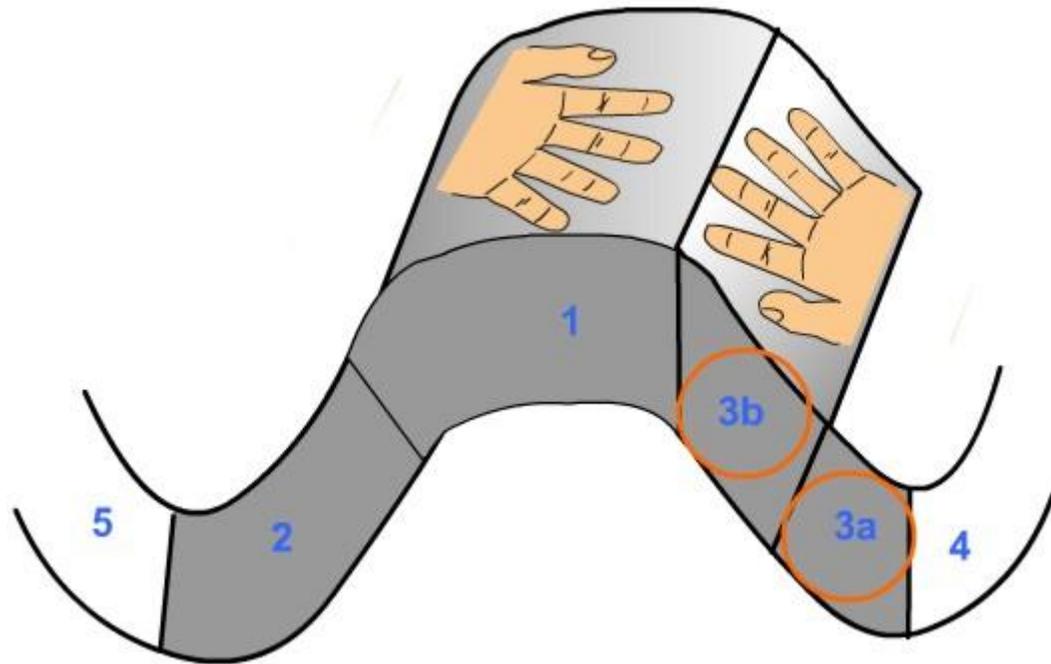
Essa è divisa in quattro regioni citoarchitettoniche:

- 1** ⇒ recettori a rapido adattamento (cute)
- 2** ⇒ recettori pressori e articolari (profondi)
- 3a** ⇒ recettori di stiramento dei muscoli (profondi)
- 3b** ⇒ recettori a lento e rapido adattamento (cute)



Caratteristica N. 2: esistenza di mappe multiple

L'area primaria 3 è divisa in due parti: 3a e 3b



In ciascuna area predominano diversi tipi recettoriali.

Area 3a: afferenze dai muscoli

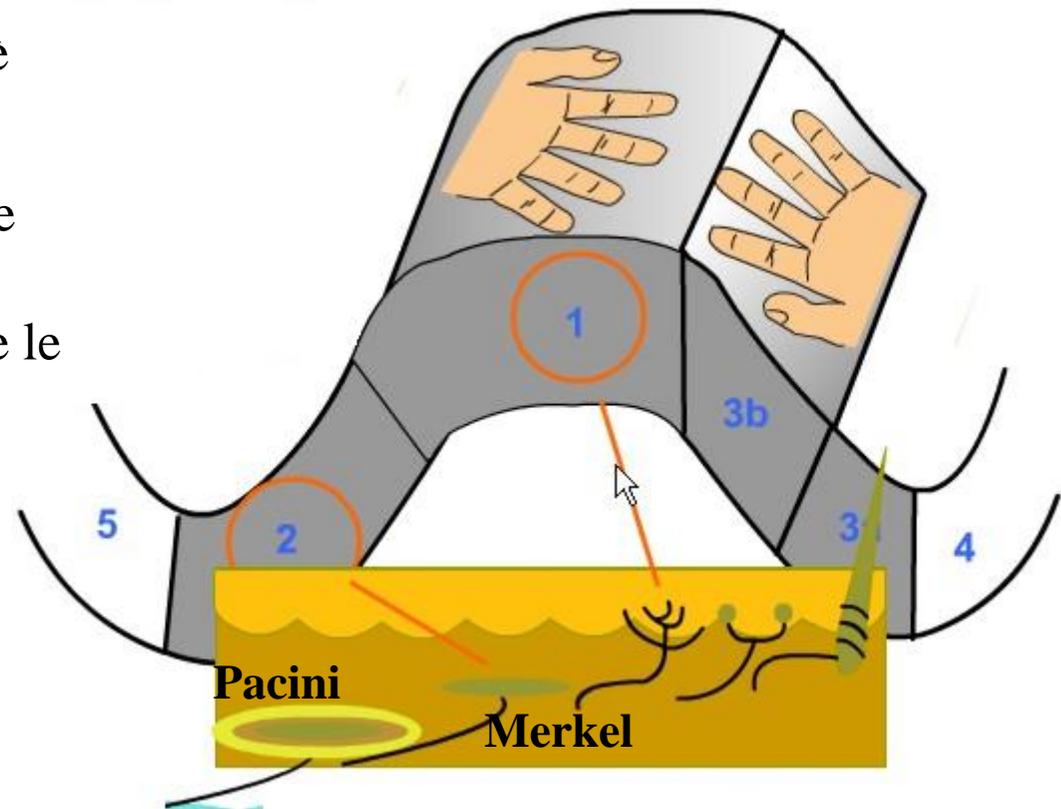
Area 3b: afferenze dalla pelle (ad adattamento rapido e lento).

Caratteristica N. 2: esistenza di mappe multiple

Le aree di ordine superiore rappresenta caratteristiche diverse.

L'area 1 riceve inputs dalle afferenze ad adattamento rapido della superficie cutanea. È importante nel riconoscimento del materiale di cui è costituito un oggetto.

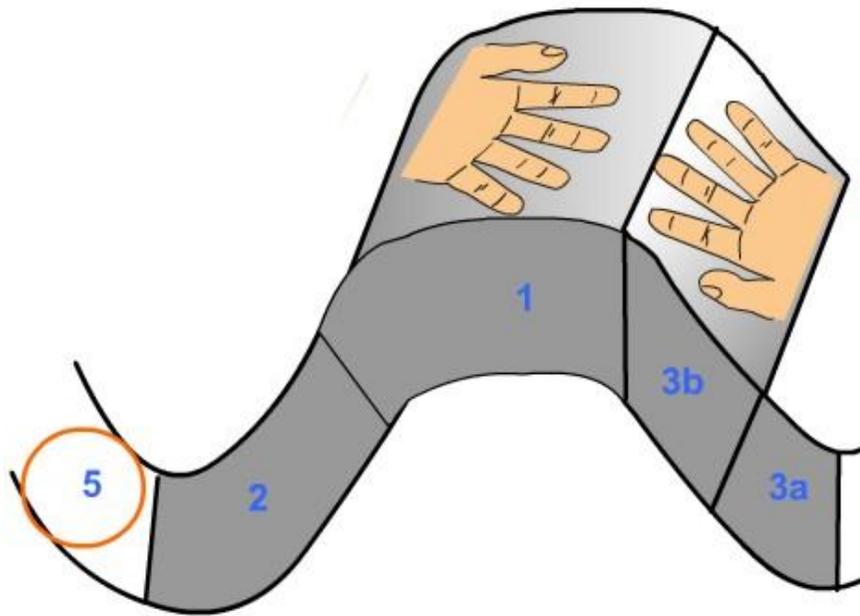
L'area 2 riceve inputs dalle afferenze profonde della pelle ad adattamento lento ed è importante nel riconoscere le dimensioni e la forma degli oggetti.



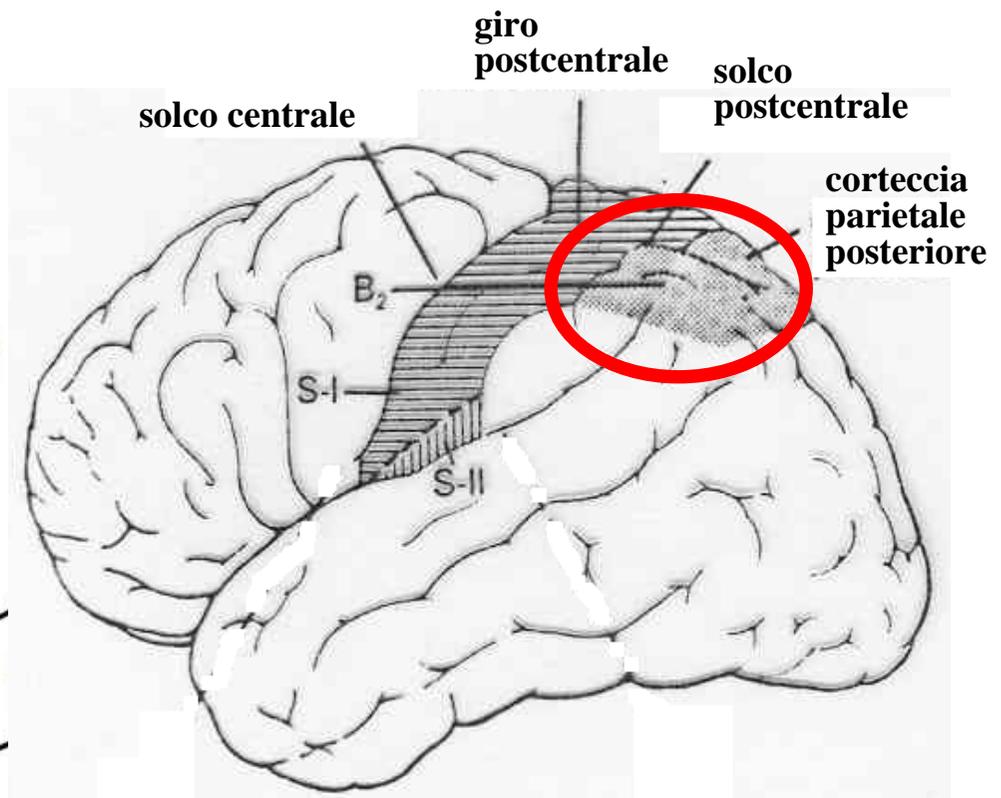
Caratteristica N. 2: esistenza di mappe multiple

L'informazione somatosensoriale è quindi mandata all'area 5 della corteccia associativa parietale dove la composizione e la forma vengono combinate per permettere una identificazione dell'oggetto (stereognosis).

Qui il tatto si combina con la visione.

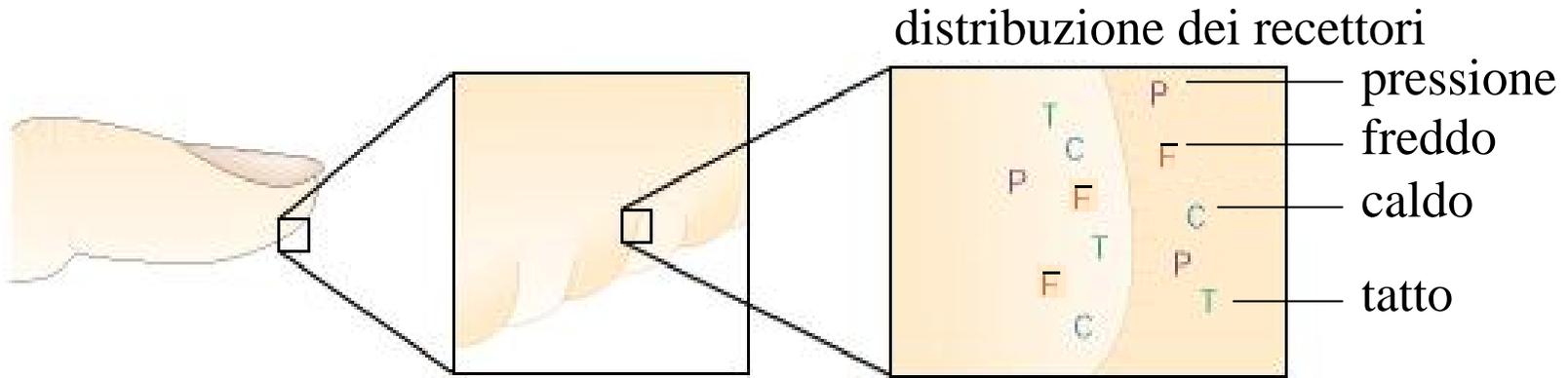


Corteccia parietale posteriore. Riceve afferenze dalle aree corticali sensitive (primarie) e dal talamo. Si ritiene che a questo livello si formi l'immagine del nostro corpo

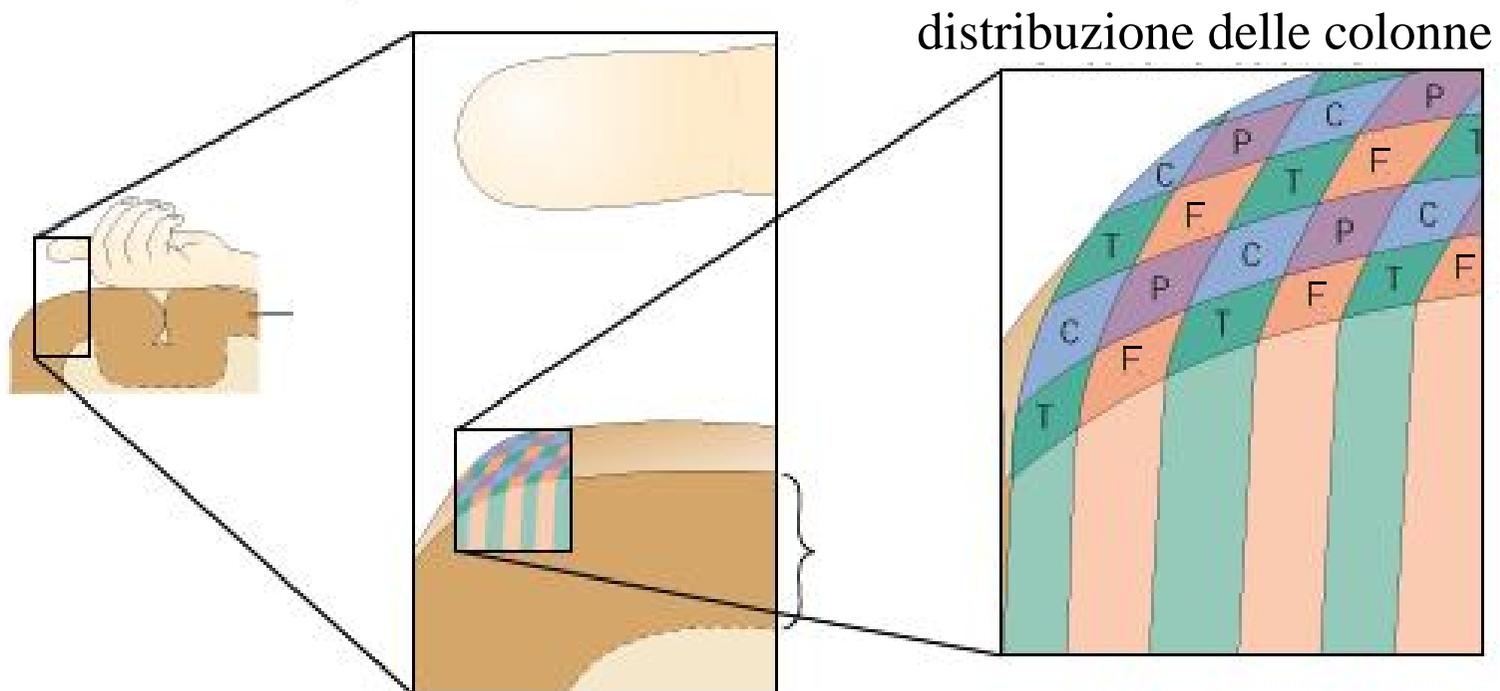


Caratteristica N. 3: Organizzazione colonnare

dito



corteccia somatosensoriale



Caratteristica N. 3: Organizzazione colonnare

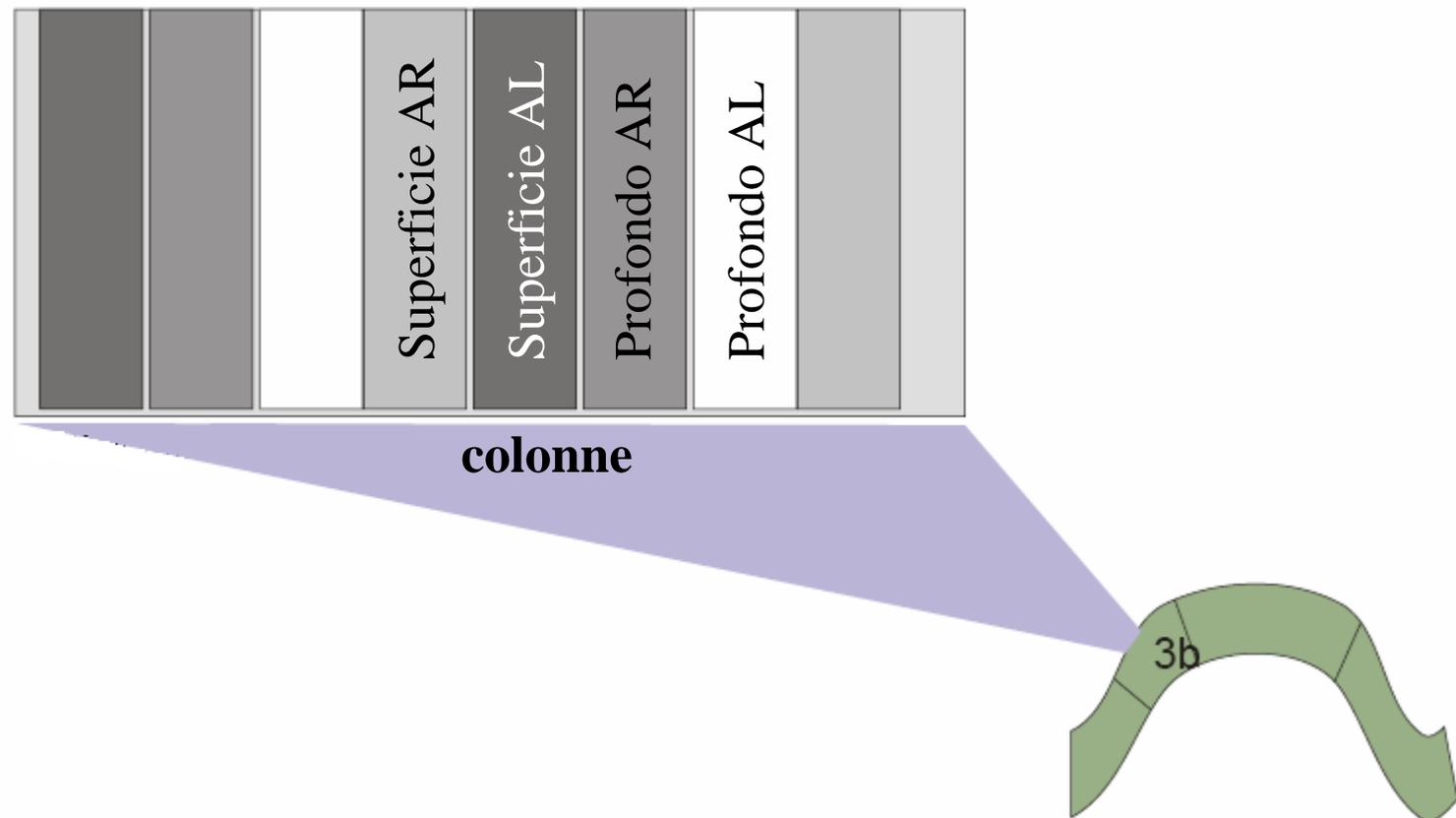
Ciascuna area è a sua volta suddivisa in colonne.

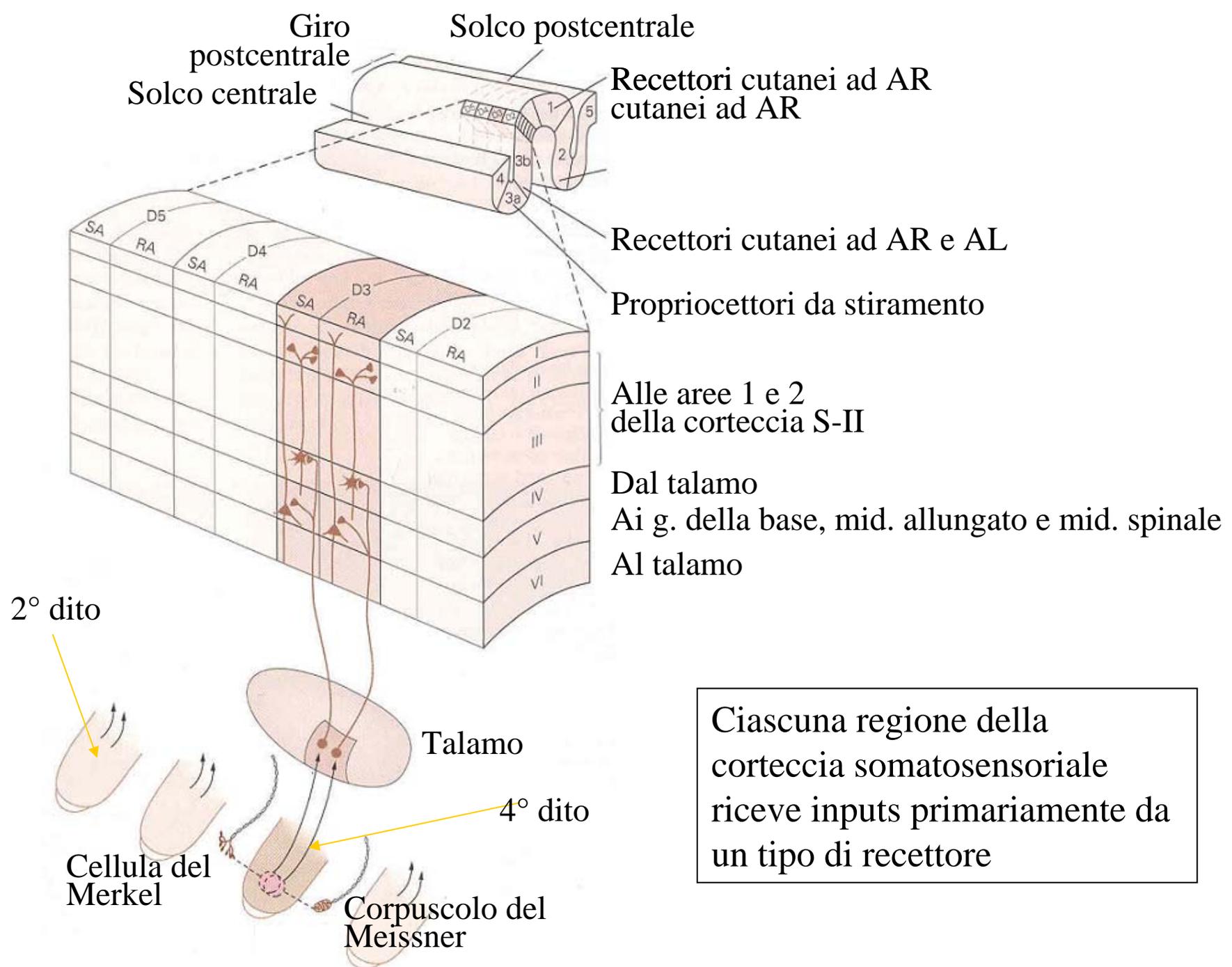
Ciascuna colonna riceve inputs da un tipo di afferenza (submodale).

Questa separazione dei tipi di afferenze in colonne è ciò che produce le vie etichettate.

Una leggera vibrazione ecciterà le cellule di un tipo di colonna.

L'attivazione di questa colonna è associata ad una vibrazione leggera.





Ciascuna regione della corteccia somatosensoriale riceve inputs primariamente da un tipo di recettore

Effetto delle lesioni

Area 1 ⇒ perdita della sensibilità alla composizione degli oggetti

Area 2 ⇒ perdita della sensibilità alla forma degli oggetti

Associazione parietale ⇒ perdita di entrambe le forme di sensibilità

www.fisiokinesiterapia.biz