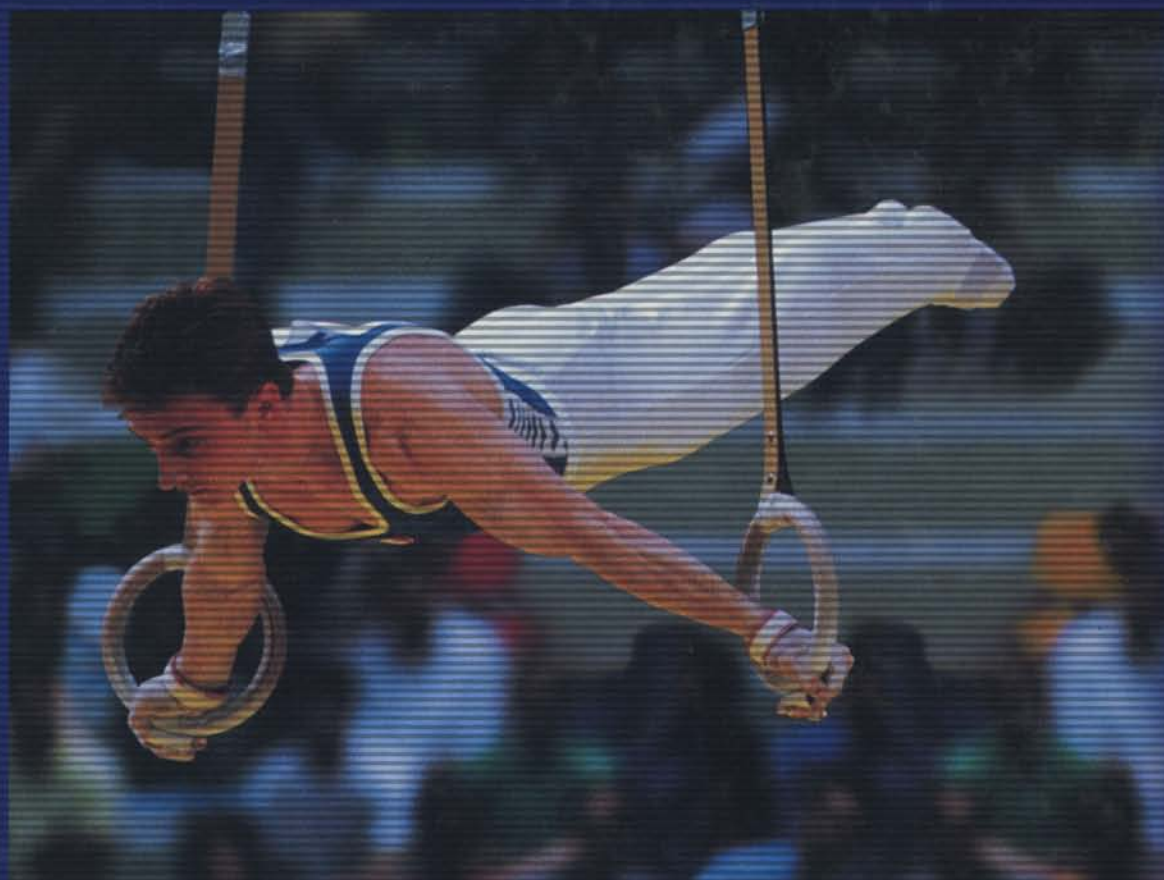


# NEUROSCIENZE E SPORT

PSICOLOGIA DELLO SPORT  
PROCESSI MENTALI DELL'ATLETA

STEFANO TAMORRI



UTET

◆ SCIENZE DELLO SPORT

# I processi di elaborazione delle informazioni

Gherardo Mannino - Claudio Robazza - Vittorio Roncagli

Nell'analisi dei processi di trattamento delle informazioni è di aiuto, secondo la teoria cognitivista, la metafora computazionale, in cui le elaborazioni mentali sono paragonate a quelle di un computer.

Le informazioni esterne e interne all'organismo pervengono al sistema nervoso centrale attraverso gli organi di senso; fra percezione/identificazione degli stimoli e risposta comportamentale si verifica una serie di operazioni intermedie, elaborazioni mentali che comprendono processi decisionali di selezione e programmazione della risposta per conseguire gli obiettivi della prestazione (fig. 4.1). L'identificazione degli stimoli permette una prima analisi delle informazioni sensoriali attraverso gli organi di senso, gli *analizzatori* (vedi pag. 77): non solo sono percepite le caratteristiche strutturali degli stimoli (la forma e il colore della palla), ma anche le configurazioni di movimento (la velocità e la direzione della palla). Dopo che gli stimoli sono stati identificati, negli stadi successivi di elaborazione seguono processi decisionali di selezione della risposta e di programmazione.

Nella fase di selezione della risposta viene scelto il programma motorio adeguato per risolvere il compito; al momento della programmazione vengono poi precisati i parametri di forza e rapidità da applicare al programma selezionato, nonché i settori muscolari da contrarre (Schmidt, 1988).

## L'IDENTIFICAZIONE DEGLI STIMOLI

Tutti gli stimoli accedono al sistema di elaborazione delle informazioni attraverso gli organi di senso. La sensibilità consiste nella capacità di ricevere e riconoscere stimoli

provenienti dal mondo esterno e dall'ambiente interno dell'organismo. I sistemi sensoriali operano, in primo luogo, recependo determinate variazioni fisiche o chimiche dell'ambiente esterno e interno (*ricezione dello stimolo*), quindi trasformando questa variazione in impulso nervoso (*trasduzione dello stimolo*). Lo stimolo viene poi inviato al SNC (*trasmissione dello stimolo*), dove può dar luogo sia a risposte riflesse che essere riconosciuto e integrato con altri stimoli.

Una prima fondamentale distinzione è quella tra sensibilità generale e sensibilità specifiche (o sensi speciali). Per *sensibilità generale* si intende la raccolta di stimoli provenienti da tutti i distretti corporei: infatti, i



Fig. 4.1. Modello semplificato di elaborazione delle informazioni.



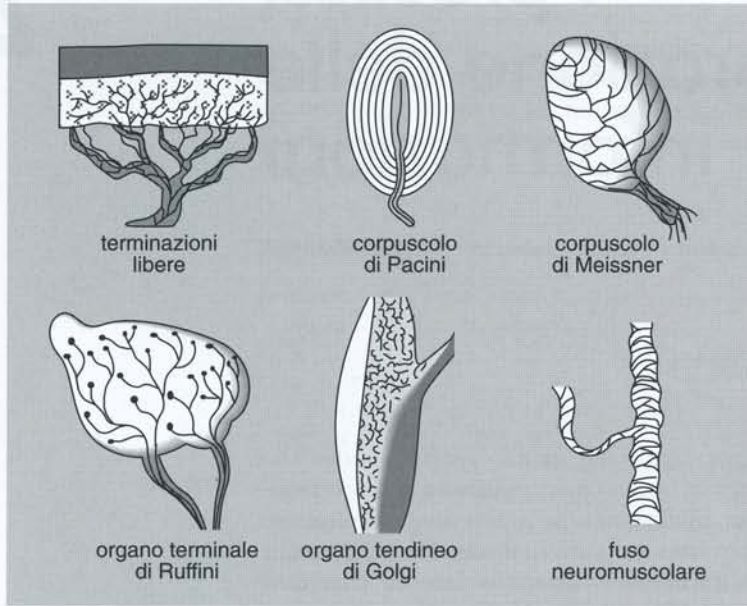


Fig. 4.2. Vari tipi di recettori sensitivi somatici (da GUYTON, 1991, modificata).

recettori sensitivi relativi a questo tipo di sensibilità sono ubiquitari (cute, articolazioni, muscolatura, visceri, ecc.). Le sensibilità specifiche (vista, udito, olfatto, ecc.), invece, usufruiscono di apparati sensoriali specializzati, dislocati in determinate regioni del capo: l'occhio per la vista, il naso per l'olfatto, ecc. Inoltre, i relativi segnali utilizzano specifiche vie di trasmissione e afferiscono a specifiche aree della corteccia cerebrale diverse da quelle della sensibilità generale.

Le strutture deputate alla ricezione degli stimoli consistono nei recettori sensitivi. I recettori sensitivi relativi alla sensibilità generale sono costituiti dalle terminazioni nervose di neuroni con funzioni sensitive, i cui corpi cellulari sono contenuti nei gangli delle radici posteriori del midollo spinale e nei gangli dei nervi cranici (tab. 4.1). Alcuni recettori sono costituiti da semplici terminazioni nervose libere, cioè prive di guaina mielinica, altri da terminazioni nervose rivestite da capsule di vario tipo (per esempio i corpuscoli di Pacini) (fig. 4.2).

I recettori dei sensi speciali sono di due diversi tipi: alcuni, come i fotorecettori della retina e le cellule olfattive della mucosa nasale, sono neuroni modificati che operano contemporaneamente nella ricezione, trasduzione e nella prima tappa della trasmissione dello stimolo; altri recettori, relativi alla sensibilità gustativa, uditiva e vestibolare, sono costituiti da cellule epiteliali altamente differenziate per la ricezione di stimoli specifici (Balboni et al., 1993). In questo caso la trasduzione e la trasmissione si verificano a livello della

Tab. 4.1. Classificazione dei recettori sensitivi.

**Meccanocettori**

*Sensibilità tattile della cute (epidermide e derma)*

- Terminazioni nervose libere
- Terminazioni a estremità espansa
  - Dischi di Merkel
  - Diverse altre varietà
- Terminazioni arboriformi
  - Organi terminali di Ruffini
- Terminazioni incapsulate
  - Corpuscoli di Meissner
  - Corpuscoli di Krause

*Organi terminali dei peli*

*Sensibilità profonda*

- Terminazioni nervose libere
- Terminazioni ad estremità espansa
  - Alcune varietà
- Terminazioni arboriformi
  - Organi terminali di Ruffini
- Terminazioni incapsulate
  - Corpuscolo di Pacini
  - Poche altre varietà
- Terminazioni muscolari
  - Fusi neuromuscolari
  - Organi tendinei di Golgi

*Udito*

- Recettori cocleari

*Equilibrio*

- Recettori vestibolari

*Pressione arteriosa*

- Barocettori dei seni carotidei e dell'aorta

**Termocettori**

*Freddo*

- Recettori per il freddo

*Caldo*

- Recettori per il caldo

**Nocicettori**

*Dolore*

- Terminazioni nervose libere

**Recettori elettromagnetici (fotocettori)**

*Visione*

- Bastoncelli
- Coni

**Chemocettori**

*Gusto*

- Boccioli gustativi

*Olfatto*

- Recettori dell'epitelio olfattivo

*Ossigeno del sangue arterioso*

- Recettori dei corpi carotidei e aortici

*Osmolarità*

- Neuroni dei nuclei sopraottici

*Anidride carbonica nel sangue*

- Recettori nel midollo allungato o sulla sua superficie

- Recettori dei corpi carotidei e aortici

*Glucosio, aminoacidi e acidi grassi del sangue*

- Recettori nell'ipotalamo

giunzione citoneurale, punto di contatto tra il recettore e la terminazione nervosa del primo neurone della specifica via sensitiva (Balboni et al., 1993).



I vari tipi di recettori, sia della sensibilità generale che di quella specifica, possiedono una reattività elevata per un determinato tipo di stimolo, mentre rispondono poco o affatto ad altri tipi di stimoli (Guyton, 1991). Comunque, pressoché tutti i recettori – sottoposti ad uno stimolo persistente – tendono ad «adattarsi», a ridurre cioè la frequenza di impulsi con cui rispondono, fino a cessare, in molti casi, ogni risposta. I vari recettori si diversificano riguardo alla rapidità con cui si instaura il fenomeno: alcuni, detti «fasici», si adattano molto rapidamente, addirittura in frazioni di secondo (Guyton, 1991); altri, detti «tonici», sono invece a lento adattamento e continuano a rispondere per molto tempo, finanche per ore.

I due tipi di recettori svolgono funzioni diverse. I recettori tonici informano continuamente il SNC sullo stato dell'organismo e sul suo rapporto con l'ambiente esterno. Per esempio, gli impulsi provenienti dai recettori tonici delle capsule articolari permettono all'individuo di conoscere momento per momento l'angolazione delle diverse articolazioni e, quindi, la posizione reciproca delle differenti parti del corpo. Rientrano in questa categoria, tra gli altri, i recettori maculari dell'apparato vestibolare, i recettori dolorifici e alcuni recettori tattili. I recettori fasici, in quanto a rapido adattamento, non possono trasmettere uno stimolo continuo: infatti vengono eccitati solo quando l'intensità dello stimolo cambia. Quindi, nel corso di uno stimolo costante, sono eccitati solo quando lo stimolo inizia e quando termina. Inoltre, il numero di impulsi prodotti è proporzionale alla velocità con cui varia l'intensità dello stimolo (Guyton, 1991). Per questa ragione, la funzione dei recettori fasici è quella di informare il soggetto di una certa variazione in atto e della velocità con cui si sta attuando. Questo permette al SNC di effettuare delle previsioni circa lo stato del corpo nell'immediato futuro e di apportare così le necessarie correzioni volte a garantire l'equilibrio o la corretta esecuzione di un movimento.

## LA SENSIBILITÀ GENERALE

La sensibilità generale può essere classificata in modi diversi. Una prima suddivisione con-

sidera la provenienza degli stimoli. Da questa prospettiva la sensibilità generale si distingue in sensibilità viscerale, superficiale e profonda (tab. 4.2).

La *sensibilità superficiale* (o *esterocettiva*) si riferisce alla raccolta di stimoli applicati alla superficie del corpo (cute e mucose); la *sensibilità profonda* (o *propriocettiva*) è relativa alla ricezione di segnali provenienti da recettori situati in strutture più profonde (muscoli, legamenti e articolazioni); la *sensibilità viscerale* (o *enterocettiva*) comprende la raccolta di informazioni provenienti dagli organi interni. Generalmente la sensibilità superficiale e quella profonda vengono raccolte insieme sotto il nome di *sensibilità somatica*.

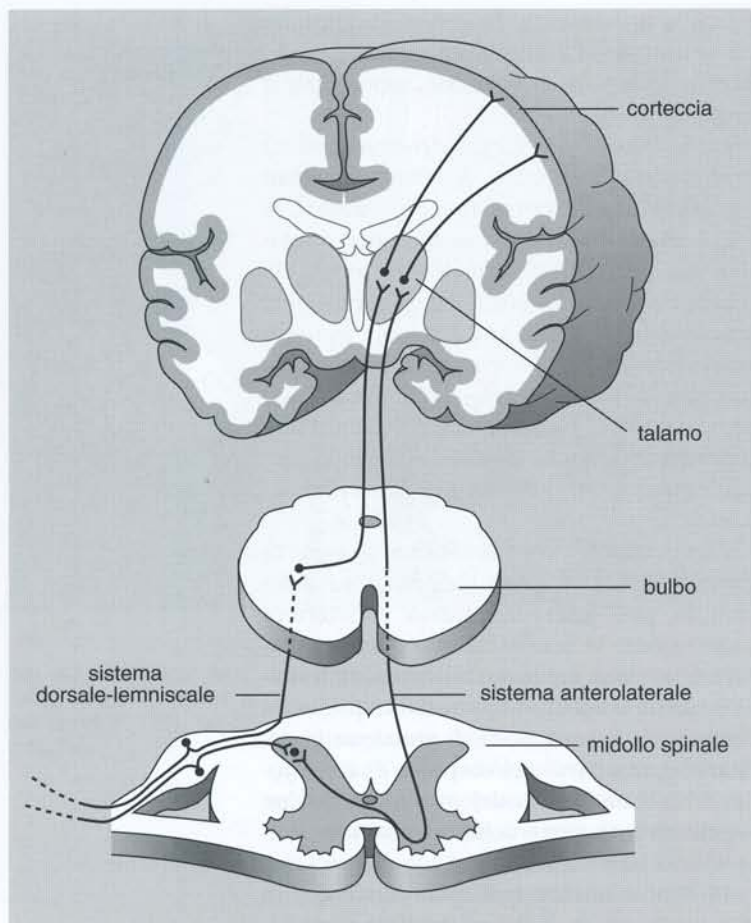
Prendendo in considerazione il tipo di sensazione cui dà luogo l'applicazione dello stimolo, può essere effettuata un'ulteriore suddivisione: la sensibilità superficiale comprende il senso del tatto, la sensibilità termica e quella dolorifica; la sensibilità profonda comprende la sensazione di pressione (esercitata su una parte del corpo) e di vibrazione, il riconoscimento del movimento di un segmento corporeo e della sua posizione nello spazio (tab. 4.2).

In ogni momento molteplici sensazioni di diverso tipo hanno luogo simultaneamente, informando così in continuazione l'organismo della propria situazione e del contesto in cui si trova. Così, per esempio, un atleta che si appresta al lancio del disco può controllare il proprio assetto corporeo grazie alle informazioni raccolte dalla sensibilità profonda (informazioni propriocettive relative alla posizione del corpo e dei singoli segmenti corporei l'uno in rapporto all'altro, sensazioni pressorie provenienti dalla pianta dei piedi, ecc.). Inoltre, grazie alla sensibilità

Tab. 4.2. Classificazione della sensibilità generale.

Somatica (protopatica ed epicritica)	Viscerale (o enterocettiva)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficiale o esterocettiva (cute e mucose)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tattile</li> <li>- Termica (caldo, freddo)</li> <li>- Dolorifica</li> </ul> </li> <li>• Profonda o propriocettiva, cosciente e incosciente (muscoli, articolazioni, tendini, legamenti)               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Batiestesia (posizione)</li> <li>- Cinestesia (movimento)</li> <li>- Barestesia (pressione)</li> <li>- Pallestesia (vibrazione)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Da vasi, sierose, visceri</li> </ul>

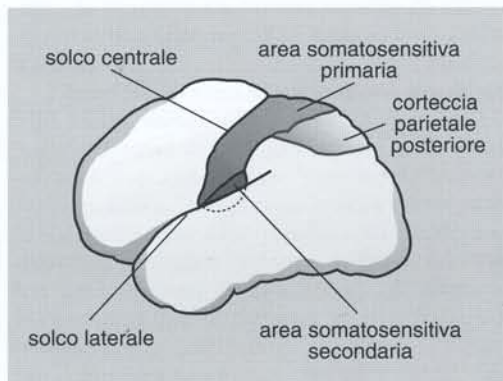




**Fig. 4.3.** I due principali sistemi di trasmissione della sensibilità somatica: il sistema dorsale-lemniscale e quello anterolaterale (da BALBONI et al., 1993, modificata).

superficiale di tipo tattile e a quella profonda, può contemporaneamente controllare ed eventualmente correggere la presa della mano sul disco.

Particolare importanza riveste inoltre la combinazione delle diverse sensazioni tra loro, che dà luogo a sensazioni complesse o combinate, procedura amplificata dall'esplorazione motoria per



**Fig. 4.4.** Aree corticali sensitive (da KANDEL e JESSEL, in KANDEL, SCHWARTZ e JESSEL, 1991, modificata).

mezzo soprattutto delle mani (Pinelli, 1986). È in questo modo che il lanciatore può essere consapevole di aspetti complessi della realtà, quali la forma, la grandezza e il peso dell'attrezzo di lancio, ed essere conscio del proprio schema corporeo.

Dal punto di vista anatomico, la sensibilità somatica usufruisce di due principali sistemi di trasmissione: il sistema dorsale-lemniscale e il sistema anterolaterale (fig. 4.3). In entrambi i sistemi, il corpo cellulare del neurone di primo ordine è contenuto nei gangli delle radici posteriori dei nervi spinali (gangli spinali) e nei gangli dei nervi cranici; il prolungamento periferico di questo neurone termina invece con il recettore sensitivo, e l'altro prolungamento è diretto al midollo.

Nel sistema dorsale, il prolungamento centrale del primo neurone, una volta entrato nel midollo, sale in alto lungo i cordoni posteriori del midollo spinale, fino a raggiungere il bulbo. A questo livello si mette in connessione con il neurone di secondo ordine, il cui assone, dopo aver attraversato la linea mediana e raggiunto la metà controlaterale del bulbo, sale ancora terminando nel talamo. Dal talamo origina, infine, il neurone del terzo ordine che raggiunge l'area sensitiva della corteccia cerebrale.

Nel sistema anterolaterale, invece, il prolungamento centripeto del neurone di primo ordine entra subito in contatto, a livello delle corna posteriori della sostanza grigia, con il neurone del secondo ordine. L'assone di quest'ultimo, attraversata la linea mediana, sale lungo i cordoni anteriori e laterali del midollo spinale fino a raggiungere il talamo. Come nel sistema dorsale, dal talamo origina il neurone del terzo ordine che raggiunge infine la corteccia. Un certo contingente di fibre del sistema anterolaterale non raggiunge il talamo, bensì si ferma a livello della formazione reticolare.

Le due vie di trasmissione svolgono funzioni diverse. Infatti, mentre il sistema anterolaterale provvede soprattutto alla trasmissione di segnali relativi alla sensibilità termica, dolorifica e tattile grossolana, il sistema dorsale provvede alla conduzione di stimoli propriocettivi e relativi alla sensibilità tattile altamente discriminata (tab. 4.3).

L'area della corteccia cerebrale, verso cui si proiettano gli assoni dei neuroni del terzo ordine di entrambi i sistemi (anterolaterale e dorsale), è denominata *area somatosensitiva*

**Tab. 4.3.** Funzioni dei due sistemi di trasmissione sensitiva.

Sistema anterolaterale	Sistema dorsale
• Sensazioni termiche e dolorifiche	• Sensazioni tattili altamente discriminate
• Sensazioni tattili grossolane: prurito, solletico	• Senso di posizione, movimento, pressione e vibrazione



primaria ed è situata dietro il solco centrale a livello della circonvoluzione post-centrale del lobo parietale (fig. 4.4).

I segnali provenienti da zone vicine del corpo raggiungono punti vicini della corteccia somatosensitiva primaria, affinché a questo livello venga mantenuta una rappresentazione spaziale ordinata dell'intera superficie corporea. A livello della corteccia sensitiva primaria esiste pertanto una sorta di mappa del corpo, in cui le varie regioni non sono però rappresentate in modo equo, ma si presentano con una diversa estensione a seconda dell'importanza che rivestono (fig. 4.5). Il fatto che zone relative alla mano e alla lingua siano molto estese è in accordo con l'importanza che la manualità e il linguaggio rivestono per l'uomo (Kandel e Jessel, 1991).

Ciascuna cellula del sistema somatosensitivo, a partire dai neuroni sensitivi del primo ordine fino ad arrivare ai neuroni della corteccia sensitiva primaria, risponde solamente alla stimolazione di un'area circoscritta della cute che ne costituisce il *campo recettivo* (Mountcastle, 1984). I campi recettivi sono più piccoli e molto più numerosi in certe zone della cute, come la punta delle dita, che di conseguenza possiedono una maggiore discriminazione tattile, cioè una maggiore capacità di percepire come distinti due stimoli applicati sulla cute a piccola distanza l'uno dall'altro.

La corteccia somatosensitiva primaria è organizzata in colonne, le cui cellule hanno campi recettivi praticamente sovrapponibili. Ogni colonna costituisce un'unità funzionale specifica per una data modalità sensoriale: alcune colonne, infatti, sono attivate da stimoli pressori, mentre altre da stimoli indotti dal movimento dei peli, ecc.

Nel contesto della corteccia somatosensitiva primaria, i segnali sensoriali sono sottoposti a un processo di graduale elaborazione reso possibile dal fatto che i diversi neuroni svolgono funzioni differenti. Nelle prime tappe dell'elaborazione sono implicati neuroni che rispondono alla semplice stimolazione meccanica dei relativi campi recettivi sulla cute. A un livello intermedio, partecipano neuroni che rispondono a caratteristiche semplici dello stimolo applicato perifericamente, come per esempio la direzione del suo movimento sulla cute. Nelle fasi avanzate dell'elaborazione sono invece coinvolti neuroni che rispondono a caratteri complessi degli stimoli, come il tipo di superficie di un oggetto a contatto con la cute o la sua configurazione tridimensionale.

Segnali elaborati dalla corteccia somatosensitiva primaria raggiungono quindi l'area

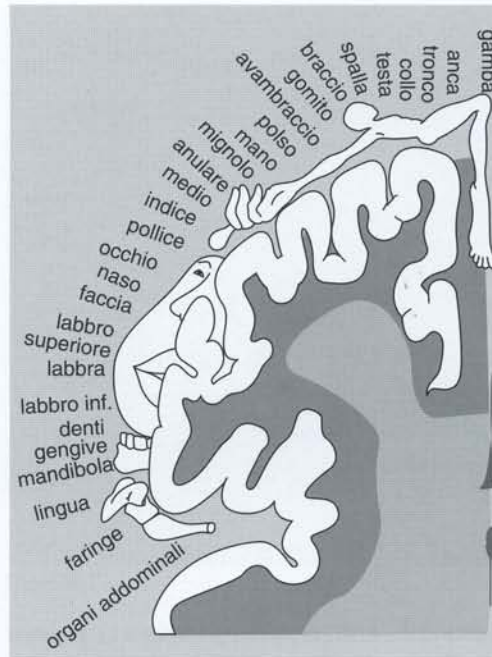


Fig. 4.5. Il cosiddetto «homunculus» di Penfield. Rappresentazione nella corteccia sensitiva primaria delle diverse regioni corporee.

somatosensitiva secondaria, situata posteriormente all'area primaria, e la corteccia parietale posteriore (aree 5 e 7 di Broadman) (fig. 4.4). Quest'ultima costituisce un'area di integrazione che, grazie all'arrivo di segnali relativi anche ad altre modalità sensoriali (visiva, uditiva, ecc.), consente all'individuo la percezione di aspetti complessi della realtà.

### Il tatto e la propriocezione

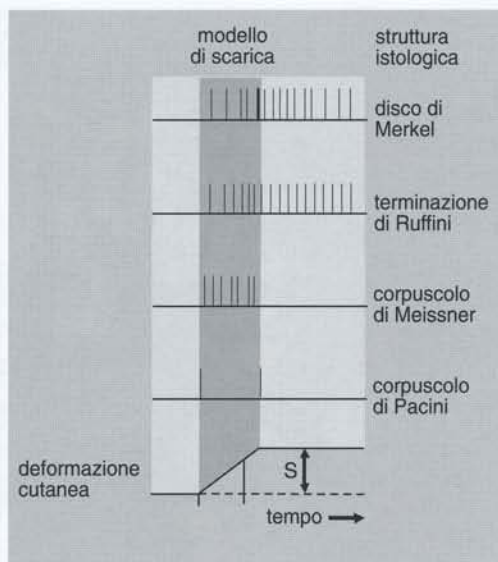
Il tatto e la propriocezione, per quanto considerati modalità sensoriali differenti, usufruiscono entrambi di recettori sensibili all'energia meccanica, i *meccanocettori*.

Il tatto comprende le sensazioni tattili fini, condotte dal sistema dorsale, e le sensazioni di tatto più grossolano, trasmesse tramite il sistema anterolaterale. Le sensazioni di pressione e di vibrazione (incluse in alcune classificazioni tra le sensazioni propriocettive) sono trasportate anch'esse dal sistema dorsale, che provvede alla conduzione delle informazioni propriocettive propriamente dette (senso di posizione e senso di movimento degli arti).

La sensazione del tatto origina dalla stimolazione di recettori situati nella cute e nei tessuti immediatamente sottostanti. Esistono diversi tipi di recettori: corpuscoli di Meissner, corpuscoli di Pacini, dischi di Merkel, terminazioni di Ruffini e



**Fig. 4.6.** La differente risposta di quattro diversi recettori alla deformazione della cute (da ZIMMERMANN, in SCHMIDT e THEWS, 1993, modificata).



recettori dei follicoli piliferi (vedi fig. 4.2). I diversi recettori, però, esibiscono differenti proprietà funzionali quando la cute viene sottoposta a una pressione. Infatti i recettori a lento adattamento, come il disco di Merkel e la terminazione di Ruffini, emettono impulsi per tutto il tempo durante il quale permane la deformazione cutanea (fig. 4.6). Inoltre, la frequenza di scarica appare proporzionale all'entità della pressione. Questi recettori, pertanto, sono in grado di informare il SNC sia riguardo l'intensità di uno stimolo tattile sia riguardo alla durata della sua applicazione.

Un recettore a rapido adattamento, come il corpuscolo di Meissner, emette impulsi fintanto che lo stimolo produce un movimento della cute, con una frequenza di scarica proporzionale alla velocità del movimento. Analogamente, rispondono solo al movimento dei peli i recettori dei follicoli piliferi.

I corpuscoli di Pacini, infine, sono recettori ad adattamento molto rapido, sensibili, quindi, solo a variazioni di velocità di uno stimolo meccanico e, di conseguenza, all'accelerazione (o decelerazione) con cui si verifica la deformazione cutanea (fig. 4.6).

Alla vibrazione risultano sensibili, per le basse frequenze (fino a 80 c/s) i corpuscoli di Meissner, per le alte frequenze (60-500 c/s) i corpuscoli di Pacini (Guyton, 1991).

La *propriocezione* propriamente detta è relativa al senso di posizione e alla sensazione del movimento (*kinestesia*). Queste sensazioni originano da un'integrazione, effettuata a livello del SNC, tra segnali provenienti da diversi recettori: recettori delle capsule articolari, recettori della cute

periarticolare e fusi neuromuscolari. Per quel che riguarda la posizione statica, i diversi recettori delle capsule possono informare il SNC circa l'angolazione delle relative articolazioni. Infatti, i diversi recettori di una determinata articolazione sono stimolati da ampiezze diverse nell'angolazione di quest'ultima. In altri termini, è il grado di angolazione a determinare quale dei recettori sarà eccitato e l'informazione può essere utilizzata dal SNC per risalire alla posizione dell'arto (Guyton, 1991).

L'effettivo contributo dei recettori articolari viene però messo in discussione, anche in considerazione del fatto che individui con protesi articolari sembrano conservare un sufficiente senso propriocettivo. Un ruolo più determinante sembra essere svolto dai fusi neuromuscolari che, informando il SNC circa la lunghezza dei muscoli, permettono di ricavare l'angolazione a livello di determinate articolazioni e quindi, in definitiva, di calcolare la posizione dell'arto.

### La sensibilità termica

I recettori per la temperatura sono di due tipi: per il caldo (costituiti da terminazioni nervose libere) e per il freddo (rappresentati da strutture specializzate). Questi ultimi sono molto più numerosi dei primi, anche se l'entità della differenza varia a seconda della regione del corpo.

La frequenza di scarica dei *termocettori* è in funzione sia della temperatura (risposta statica) che della velocità con cui questa varia (risposta dinamica) (fig. 4.7): per temperature superiori a 45 °C, per esempio, sono nuovamente eccitati i sensori per il freddo, e ciò spiega perché il caldo e il freddo intensi diano luogo a esperienze pressoché indistinguibili.

La risposta dinamica di un recettore per il freddo è costituita dapprima da un brusco aumento della frequenza di scarica, e quindi da un graduale ritorno a valori poco più elevati di quelli iniziali nel giro di qualche decina di secondi (fig. 4.8). Nel caso di aumento di temperatura la reazione è opposta. La risposta dinamica dei recettori per il caldo è speculare a quella esibita dai recettori per il freddo, e la frequenza di scarica aumenta per un aumento della temperatura e diminuisce per una sua riduzione (Zimmermann, 1993). Il comportamento dei termocettori spiega perché un soggetto avverte molto più freddo quando la propria temperatura cutanea si sta abbassando di quanto non



ne avverta allorché quella stessa temperatura è mantenuta costante (Guyton, 1991).

Quando una regione della cute subisce una variazione di temperatura, almeno tre fattori concorrono a determinare il tipo di sensazione che il soggetto avvertirà: «più caldo», «più freddo», oppure una sensazione neutra. I tre fattori sono: il valore iniziale della temperatura; la velocità di variazione della temperatura; l'estensione dell'area cutanea interessata dalla modificazione della temperatura.

L'importanza del primo fattore è legata al fatto che, per una data temperatura, la sensibilità del soggetto nei confronti di una variazione termica non è uguale nei due sensi, cioè per un incremento o per una riduzione della temperatura. A temperature cutanee basse, infatti, il soggetto percepisce per prima un'escursione verso il basso; il contrario si verifica per temperature elevate (Zimmermann, 1993).

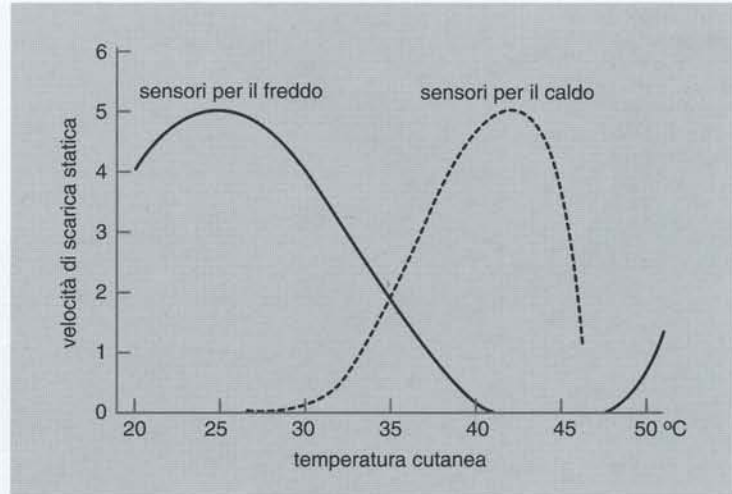
Per quel che concerne il secondo fattore, una variazione rapida della temperatura viene avvertita dal soggetto più facilmente rispetto a una variazione lenta. Pertanto, se la cute viene raffreddata molto lentamente, il soggetto può non avvertire per molto tempo una sensazione di freddo, pur continuando a perdere calore dal proprio corpo.

L'importanza del terzo fattore è legata al fatto che gli stimoli termici vanno incontro a un processo di sommazione a livello del SNC (Guyton, 1991). Pertanto, quando una modesta variazione di temperatura interessa solo una piccola area cutanea i pochi termocettori stimolati possono risultare insufficienti a rilevarla; la stessa escursione termica, invece, viene registrata facilmente se l'area cutanea è più estesa, dato che in questo caso possono essere computati gli stimoli provenienti da un numero maggiore di termocettori. Una rapida variazione della temperatura cutanea dell'ordine di un centesimo di grado viene avvertita se interessa l'intera superficie corporea, mentre un'escursione di un grado può non essere rilevata se interessa un'area di solo un centimetro quadrato (Guyton, 1991).

L'importanza anche di questa sensibilità nel campo dello sport si rileva, tra le altre, in quelle discipline nelle quali la coordinazione del movimento risente particolarmente delle modificazioni atmosferiche, come per il freddo: free-climbing, rafting, sci, immersione, bob, nuoto di granfondo. Ma, anche in sport nei quali non è richiesta la permanenza a temperature estremamente basse, spesso si impongono alcuni accorgimenti di protezione (i calciatori con i guanti di lana, per esempio).

## I SENSI SPECIALI

Per sensi speciali si intendono l'udito, il gusto, l'olfatto, la vista.



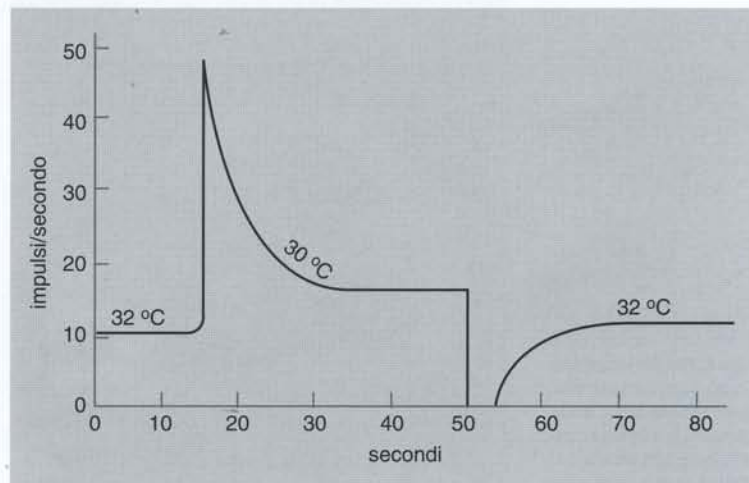
**Fig. 4.7.** Risposta statica dei termocettori in funzione della temperatura (da ZIMMERMANN, in SCHMIDT e THEWS, 1993, modificata).

## L'udito

L'organo dell'udito è costituito dall'orecchio, nel quale si distinguono tre compartimenti: esterno, medio e interno (fig. 4.9).

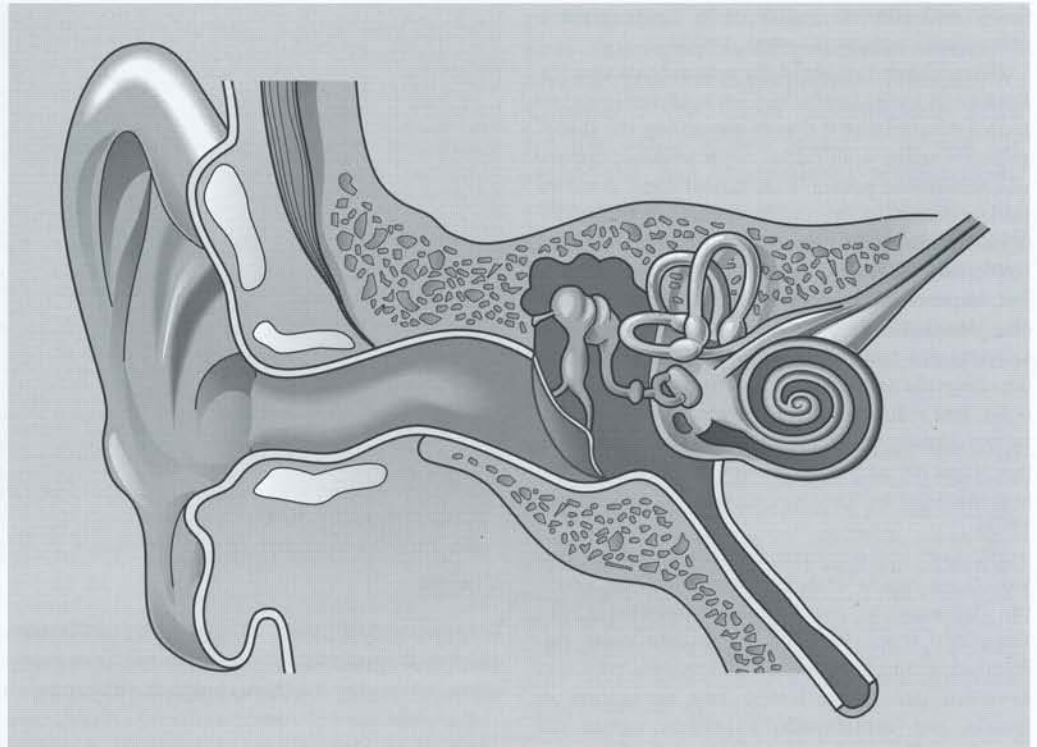
L'orecchio esterno è rappresentato dal padiglione auricolare e dal meato acustico esterno, deputato a ricevere e convogliare le onde sonore sulla membrana del timpano. L'orecchio medio ospita il sistema degli ossicini (martello, incudine e staffa), deputato a trasmettere le onde sonore dalla membrana timpanica all'orecchio interno, amplificandone di molte volte la pressione. L'orecchio interno, infine, comprende l'apparato vestibolare (l'organo dell'equilibrio) e la coclea, che contiene i recettori acustici. La coclea è un sistema di tre canali affiancati che si avvolgono a spirale intorno a un asse centrale, costituito dal centro osseo della coclea (modiolo). I tre canali

**Fig. 4.8.** I termocettori. Risposta di una fibra nervosa proveniente da un recettore per il freddo alla rapida variazione della temperatura cutanea, dapprima da 32 a 30 °C e quindi da 30 a 32 °C (da GUYTON, 1991, modificata).





**Fig. 4.9.** Struttura dell'apparato uditivo: l'orecchio esterno, l'orecchio medio, l'orecchio interno (da BALBONI et al., 1993, modificata).



sono: la rampa vestibolare, la rampa media e quella timpanica (fig. 4.10).

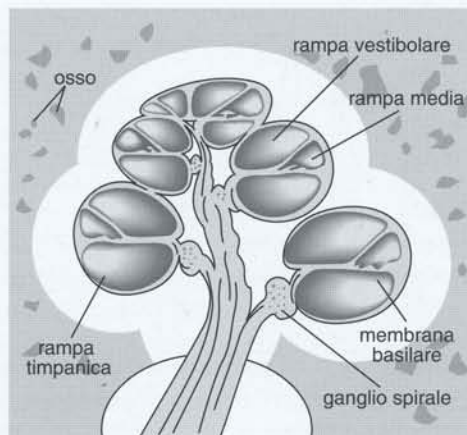
La rampa vestibolare e quella media sono separate dalla membrana vestibolare, una struttura così sottile e mobile che, al fine della propagazione dell'onda sonora, le due rampe possono considerarsi un'unica cavità. La rampa media è divisa dalla timpanica per mezzo della membrana basilare, sulla cui superficie è situato l'organo di Corti, la struttura recettoriale specifica per l'udito. Le vibrazioni sonore sono trasmesse, amplificate, dal sistema degli ossicini al liquido contenuto nella rampa vestibolare e nella rampa timpanica per mezzo della base della staffa, che si affaccia sulla

rampa vestibolare in corrispondenza di un'apertura di quest'ultima, la finestra ovale (fig. 4.11). L'onda sonora in arrivo suscita così un'oscillazione della membrana basilare, che avrà però una configurazione diversa a seconda della frequenza del suono (Guyton, 1991) (fig. 4.12).

L'organo di Corti è costituito da cellule ciliate, situate sulla membrana basilare, le cui estremità sono fissate da una struttura molto rigida, la lamina reticolare. Le ciglia sono in contatto con una particolare struttura, la membrana tectoria, che sormonta l'organo di Corti (fig. 4.10), la cui architettura è tale che escursioni verso l'alto o verso il basso della membrana basilare si traducono in un movimento della lamina reticolare rispettivamente verso l'interno e verso l'esterno. Questo movimento è responsabile del ripiegamento, in una direzione o nell'altra, delle ciglia delle cellule ciliate, che risponderanno in modo diverso – eccitandosi o inibendosi – a seconda della direzione della flessione.

Con le cellule ciliate prendono contatto le terminazioni dei neuroni sensitivi di primo ordine, i cui corpi cellulari sono ospitati nel modiolo della coclea (ganglio spirale di Corti). I prolungamenti centripeti di questi neuroni, che costituiscono il nervo cocleare, raggiungono quindi il bulbo, a livello del quale contraggono sinapsi con i neuroni dei nuclei cocleari dorsale e ventrale (fig. 4.13). Gli assoni di questi ultimi raggiungono per la maggior parte il nucleo olivare superiore situato con-

**Fig. 4.10.** Struttura dell'orecchio interno. Sezione schematica della coclea (da KLINKE, in SCHMIDT e THEWS, 1993, modificata).





trolateralmente, e in piccola parte quello omolaterale. Alcuni neuroni a partenza dal nucleo olivare superiore terminano a livello del nucleo del lemisco laterale; altri a livello del collicolo inferiore; altri, infine, a livello del corpo genicolato mediale. Nella corteccia uditiva primaria, situata a livello della circonvoluzione temporale superiore, giungono i neuroni del corpo genicolato mediale. In vicinanza dell'area uditiva primaria si estende l'area uditiva secondaria, che riceve segnali dalla prima. L'area uditiva primaria è alla base della capacità di percepire le caratteristiche di un suono e di discriminare tra diverse sequenze di suoni. La corteccia uditiva secondaria è necessaria per l'attribuzione di un significato ai suoni uditi (fig. 4.14).

## Il gusto

I recettori per il gusto sono costituiti da specifiche cellule gustative situate sulla superficie della lingua e, in misura minore, del palato e della faringe, all'interno di organi particolari detti bottoni gustativi.

Esistono quattro diverse varietà di recettori, ciascuna specializzata nel rilevare una delle quattro modalità gustative di base: dolce, salato, acido e amaro. I diversi sapori sembrano derivare dalle molteplici combinazioni di questi sapori di base.

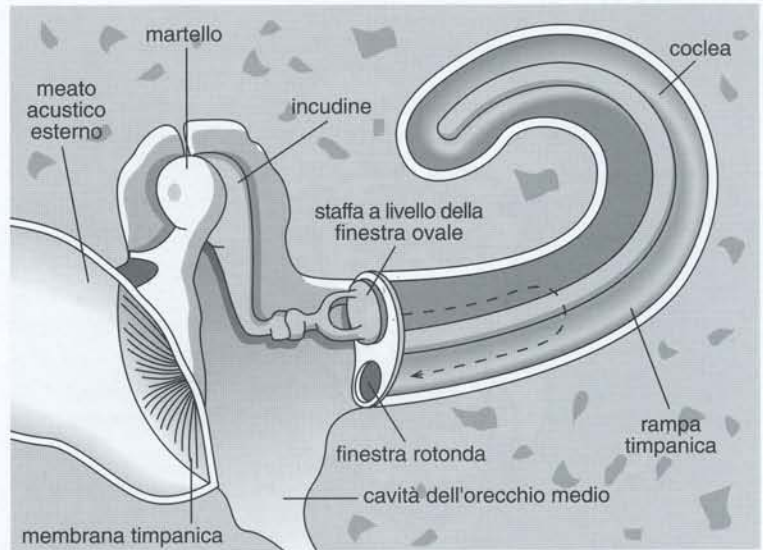
Al senso del gusto reca un'importante contributo anche l'olfatto: quando la sensibilità olfattiva è ridotta, la sensibilità gustativa appare diminuita d'intensità.

Perché venga suscitata una sensazione gustativa bisogna che le molecole della sostanza gustata si leghino a particolari siti di riconoscimento situati sulle cellule recettrici. Il legame della molecola al suo sito specifico è in grado di indurre una variazione del potenziale di membrana della cellula recettrice, che – se di sufficiente ampiezza – eccita le fibre nervose con cui la cellula recettrice è in connessione (Dodd e Castellucci, 1991).

I segnali gustativi, trasportati dai neuroni sensitivi di primo ordine, tramite percorsi diversi a seconda della zona di partenza (fig. 4.15), raggiungono tutti il nucleo solitario, situato nel bulbo. Da qui originano i neuroni di secondo ordine che raggiungono il talamo. Da quest'ultima struttura, infine, i neuroni di terzo ordine si portano alla corteccia cerebrale e precisamente all'estremo inferiore della circonvoluzione postcentrale, dove le sensazioni gustative vengono identificate.

## L'olfatto

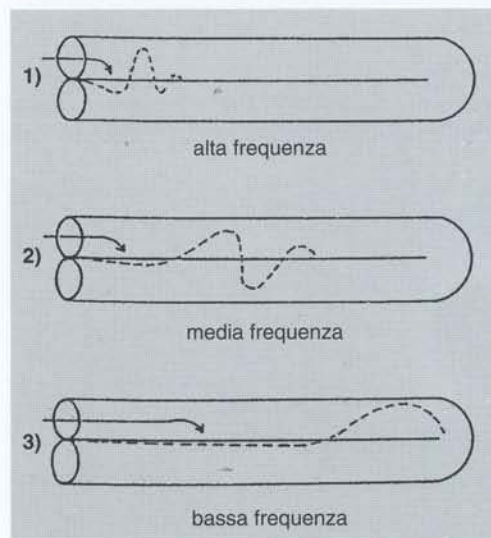
I recettori per l'olfatto sono costituiti da cellule olfattive, situate nella mucosa della parte superiore delle cavità nasali.



Le cellule olfattive sono cellule nervose bipolari il cui prolungamento periferico, molto breve, presenta alla sua estremità parecchie ciglia che interagiscono con le molecole odorifere. Le cellule olfattive presentano un'attività di base; in caso di legame delle molecole odorifere con i particolari siti di riconoscimento, esse aumentano la frequenza di scarica.

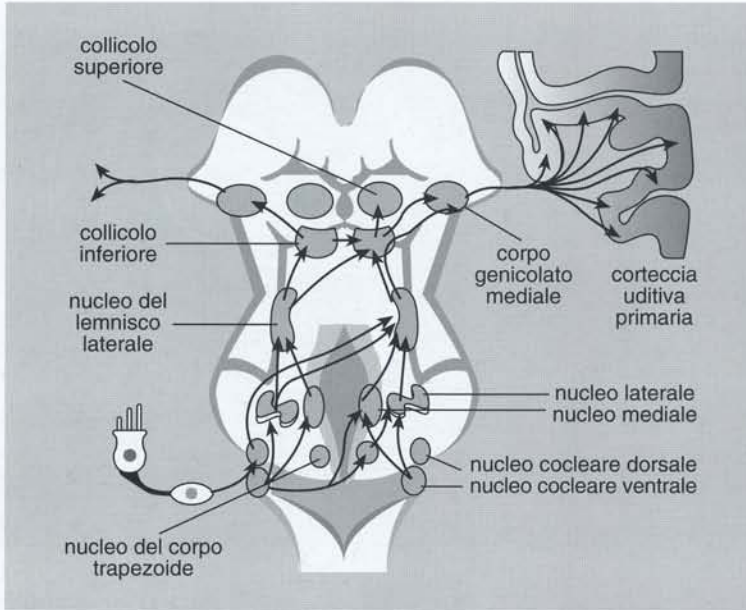
I prolungamenti centripeti delle cellule olfattive, attraverso i fori della lamina cribrosa dell'etmoide, un osso della base cranica, penetrano all'interno della cavità cranica e terminano a livello di una formazione nervosa, detta bulbo olfattivo. A questo livello contraggono sinapsi con due tipi di neuroni: le cellule mitrali e le cellule a penna. Gli assoni di queste cellule dapprima costituiscono il tratto olfattorio e quindi si distribuiscono a livello delle diverse aree olfattive.

**Fig. 4.11.** Meccanismo di trasmissione delle onde sonore all'orecchio interno. Le vibrazioni sonore, amplificate dal sistema degli ossicini, sono trasmesse al fluido contenuto nella rampa vestibolare e timpanica. Le variazioni della pressione di questo liquido sono possibili in quanto la finestra rotonda è chiusa da una membrana flessibile (da KELLY, in KANDEL, SCHWARTZ e JESSEL, 1991, modificata).



**Fig. 4.12.** Rappresentazione schematica della diversa configurazione delle onde lungo la membrana basilare in funzione della frequenza del suono (da GUYTON, 1991, modificata).





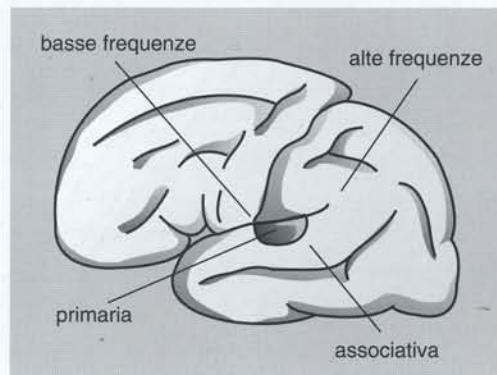
**Fig. 4.13.** Schema semplificato delle vie acustiche (da KLINKE, in SCHMIDT e THEWS, 1993, modificata).

Le aree olfattive comprendono: il nucleo olfattivo anteriore, il tubercolo olfattorio, la corteccia prepiriforme, il nucleo corticale dell'amigdala e l'area entorinale (connessa con l'ippocampo). A sua volta il tubercolo olfattorio, per mezzo del talamo come stazione intermedia, si proietta alla corteccia orbitofrontale, situata sulla superficie inferiore dei lobi frontali (fig. 4.16).

Queste formazioni svolgono funzioni diverse: la via diretta al sistema limbico (amigdala, corteccia entorinale e ippocampo) appare mediare la componente emotiva, che accompagna le sensazioni olfattive; la via diretta alla corteccia orbitofrontale appare implicata nella percezione cosciente e nell'identificazione degli odori (Guyton, 1991).

**La vista**

Nel contesto in cui si trova a operare, un atleta ha esigenze visive molto differenti dal-



**Fig. 4.14.** Area corticale uditiva primaria (da GUYTON, 1991, modificata).

l'individuo che svolge un lavoro sedentario. In aggiunta, le varie attività sportive hanno mostrato di richiedere abilità visive differenti in relazione alla dinamicità e complessità del contesto tecnico e ambientale.

Alla performance visiva è attribuita l'enorme importanza di riflettere aspetti del comportamento totale dell'individuo e il pattern di relazione con lo spazio esterno. Grande enfasi viene attribuita al fatto che l'enorme mole di informazioni sensoriali, che il sistema visivo fornisce continuamente al cervello, influisce:

- a) sul comportamento motorio;
- b) sulla struttura psichica;
- c) sull'immagine del sé;
- d) sullo schema corporeo;
- e) sullo stile di *information-processing*;
- f) sul *problem-solving* e quindi, in definitiva, sui processi mentali e sulle attitudini a prendere decisioni.

La funzione visiva è considerata il processo percettivo emergente, il più sensibile e adattabile alle condizioni esterne, l'espressione sensoriale più plasmabile, più educabile e più allenabile tramite l'esperienza quotidiana quale prodotto dell'interazione con l'ambiente. L'informazione visiva per l'atleta diviene importante in quanto consente la rapida formazione di risposte adeguate al compito motorio.

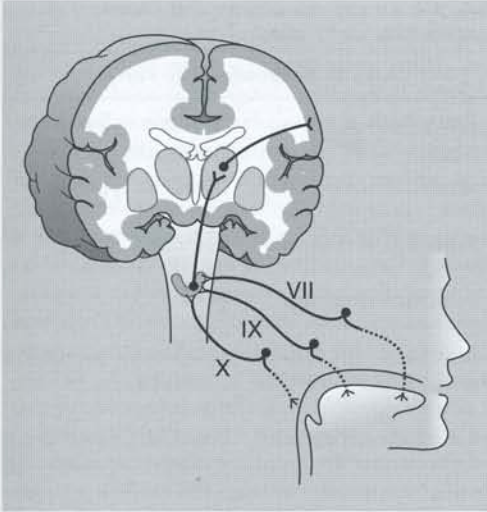
La prima fase elaborativa è la raccolta delle informazioni utili attraverso gli organi sensoriali, per ottenere una prima selezione degli stimoli e una iniziale organizzazione degli stessi. Le informazioni che il sistema deve recepire si estendono per 360 gradi, ma il campo funzionale utile a percepire elementi in modo ottimale è molto più ristretto se si considera che:

- 1) il campo visivo dell'uomo è di circa 120 gradi (dei quali un solo grado nella fovea e 2-3 gradi nella parafovea sono visti perfettamente);
- 2) l'acuità visiva decade bruscamente nella periferia ai 25 gradi;
- 3) tale campo funzionale diminuisce con l'aumentare degli elementi presenti nel campo visivo (mascheramento, interferenza laterale) (Bouma, 1970) e con il grado di attenzione.

*Movimenti oculari ed elaborazione del messaggio visivo*

Il processo percettivo consiste nel passaggio dell'informazione visiva attraverso una serie





di «stazioni» nervose in cui essa viene di volta in volta decodificata e trasmessa, o rinviata (fig. 4.17).

Il primo livello di trasduzione si ha con i recettori, che consentono all'informazione di entrare nel sistema visivo. Un secondo livello di elaborazione si ha con l'attivazione dei corpi genicolati, dove avviene il passaggio dell'informazione alle aree corticali o il proseguimento verso le aree troncoencefaliche, per l'organizzazione di risposte riflesse relative tanto a modificazioni del diametro pupillare quanto alla formazione di programmi oculomotori stereotipi. Un terzo livello di analisi ha, nelle aree corticali in cui avviene, una elaborazione cognitiva volontaria e/o automatizzata.

La formazione di risposte riflesse mostra lo stretto legame tra recettore e stimolo; nello stesso tempo, come nel caso dei movimenti oculari, anche la corteccia, sia frontale che occipitale, può organizzare programmi motori di occhio e capo. L'occhio sceglie l'oggetto da osservare o quello da non osservare impedendo o agevolando, tramite l'azione di muscoli estrinseci, lo spostamento in alcune direzioni.

Il sistema recettoriale non è un apparato inerte che subisce l'azione di qualsiasi stimolo (Ruggieri, 1988); il modello di Melzack (1976), cioè del controllo dell'informazione in entrata, ipotizza che la periferia moduli la sostanza reticolare che, a sua volta, controlla la periferia stessa per cogliere definitivamente l'aspetto attivo delle prime fasi del processo di analisi sensoriale. L'informazione esterna può arrivare al tronco, tramite la retina, determinando una risposta motoria riflessa, oppure arrivare alla corteccia cerebrale, creando una decodificazione e un programma motorio.

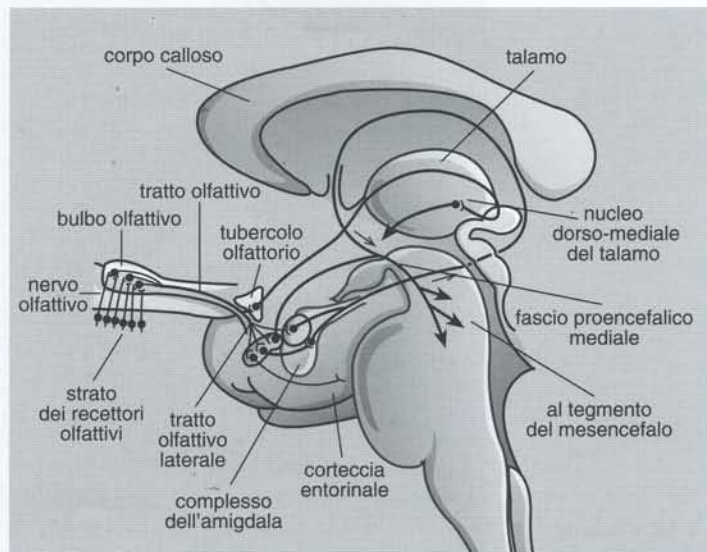
Nell'atleta, il programma motorio tende a generare degli stereotipi funzionali che legano degli input a risposte il più possibile automatizzate secondo il principio della «economicità». Nel lobo occipitale, al livello dell'area visiva primaria (o area 17 di Broadman), i neuroni rispondono a stimoli definiti per: posizione nello spazio (*retinotopia*), dimensioni (potere di risoluzione spaziale o *acuità*), durata di apparizione (*sensibilità temporale*), contrasto (*sensibilità al contrasto*), colore (*sensibilità cromatica*), movimento assoluto e relativo (*sensibilità al movimento e alla direzione*), posizione rispettiva nel campo recettivo dei due occhi (*sensibilità alla profondità e stereopsi*) (tab. 4.4). La possibilità di dirigere lo sguardo nella direzione desiderata è altrettanto importante dell'interpretazione dei segnali visivi.

Sei sono i muscoli striati che permettono a ogni bulbo oculare di muoversi nelle varie direzioni dello spazio; essi sono innervati da fibre motorie del III, IV e VI paio di nervi cranici (fig. 4.18).

Gli impulsi per i movimenti volontari degli occhi partono dalla corteccia cerebrale frontale, ove si trova un centro apposito, dalle zone 17, 18, 19 di Broadman della corteccia occipitale. Un secondo centro corticale oculomotore si trova nella zona occipitale, accanto alla corteccia visiva (Lurija, 1977). L'apparato vestibolare esercita un effetto stabilizzante sulla motilità oculare, cosicché a ogni cambiamento di posizione della testa o del corpo, grazie ai riflessi statometrici, si producono movimenti di compenso degli occhi. I movimenti del

**Fig. 4.15.** Schema delle vie gustative. Neuroni sensitivi di primo ordine, appartenenti al VII, IX e X nervo cranico, raggiungono il nucleo solitario nel bulbo. Da qui originano i neuroni sensitivi di secondo ordine che raggiungono il talamo, da cui, infine, i neuroni sensitivi di terzo ordine raggiungono la corteccia gustativa (da DODD e CASTELLUCCI, in KANDEL, SCHWARTZ e JESSEL, 1991, modificata).

**Fig. 4.16.** Schema delle vie olfattive (da DODD e CASTELLUCCI, in KANDEL, SCHWARTZ e JESSEL, 1991, modificata).





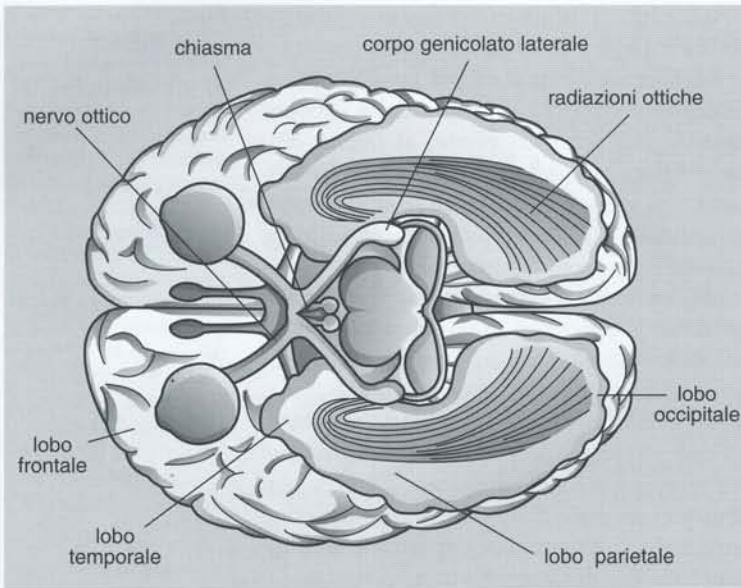


Fig. 4.17. Il «passaggio» dell'informazione visiva.

bulbo si definiscono in rapporto a 3 assi (assi di Fick): orizzontale, verticale e anteroposteriore, che coincide con la linea di fissazione o linea visiva. I tre assi si incrociano nel centro di rotazione del bulbo.

I movimenti oculari sono stati classificati (Saraux e Biaias, 1973) in cinque categorie: (1) di fissazione; (2) saccadici; (3) di inseguimento; (4) di vergenza; (5) vestibolari.

Durante la fissazione l'attività oculomotoria mantiene la macula sull'oggetto fissato. Questa attività necessita di alcuni tipi di movimenti continui che impediscono all'immagine retinica di stabilizzarsi e, quindi, svanire. Ciò avviene per la partico-

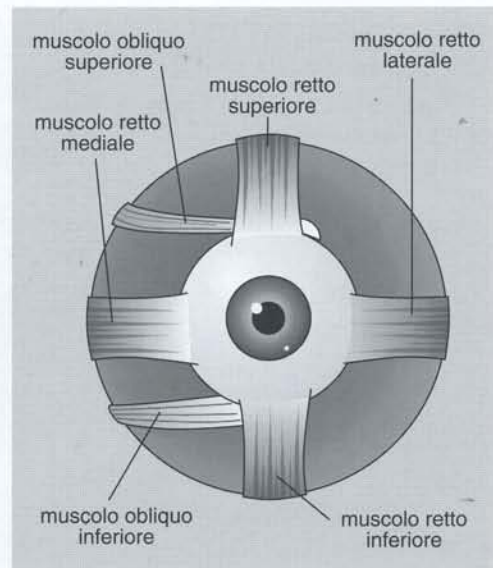


Fig. 4.18. I muscoli estrinseci dell'occhio.

Tab. 4.4. La risposta di gruppi di neuroni a diverse caratteristiche dello stimolo visivo.

Area 17 di Broadman (o visiva)	
• Retinotopia	Posizione nello spazio
• Acuità	Dimensioni
• Sensibilità temporale	Durata di apparizione
• Sensibilità al contrasto	Contrasto
• Sensibilità cromatica	Colore
• Sensibilità al movimento e alla direzione	Movimento assoluto e relativo
• Sensibilità alla profondità e stereopsi	Posizione rispettiva nel campo recettivo dei due occhi

lare conformazione dei fotorecettori che si esauriscono dopo un determinato periodo di tempo. I movimenti sono le *microsaccadi*, simili a saccadi esplorative, di minor ampiezza, che hanno la funzione di piccoli movimenti di fissazione. I *drift* sono movimenti lenti con direzione e ampiezza variabili, deputati al mantenimento della visione nitida dei contorni e dei particolari; essi permettono all'immagine di spostarsi impedendo alla cellula nervosa di adattarsi al segnale. I tremori sono movimenti di tipo oscillatorio con alta frequenza (30-80 oscillazioni per secondo) e piccolissima ampiezza (inferiore a 1°), che non sembrano modificare la posizione dell'immagine retinica e costituiscono il *rumore di fondo* dell'immagine retinica. Questi movimenti permettono di mantenere stabile per lunghi periodi la percezione.

L'attività di fissazione può essere anche automatica se i recettori inviano le informazioni a livello dei collicoli superiori dai quali verrà organizzata la risposta di tipo riflesso. Nel *reflesso d'orientamento* (Sokolov, 1963), per esempio, si può osservare una risposta innata dell'organismo nel suo insieme, in cui sono presenti: (a) modificazioni del livello di arousal (dovuti all'attivazione della sostanza reticolare ascendente); (b) rallentamento della frequenza cardiaca; (c) riflesso psicogalvanico; (d) deviazione del capo e degli occhi verso la sorgente dello stimolo.

*Processi attentivi e attività visivo-esplorativa*

Molto stretto è il legame fra processi attentivi, descritti in psicofisiologia a partire dal livello di arousal della sostanza reticolare (e, in senso più ampio, dallo stile di relazione fra organismo e ambiente) e attività visivo-esplorativa (Duffy, 1972).



Sulla base della relazione recettore-stimolo, l'attenzione visiva si presenta a diversi livelli, che possono anche venir enucleati dallo studio della fenomenologia dello sguardo (Ruggieri, 1987). Si può avere uno sguardo che entra in «contatto» con stimoli esterni ravvicinati in una vista «rilassata», in cui gli assi dei bulbi oculari sono paralleli, all'infinito. Esistono evidenti modificazioni se si associa a questo sguardo il fenomeno dell'attenzione concentrata, in cui gli assi dei bulbi oculari diventano obliqui e convergenti sullo stimolo; lo sguardo si modifica ulteriormente nella condizione di attenzione aspecifica generalizzata in cui i recettori non sono in contatto con lo stimolo, ma sono in un'attesa preparatoria, in una condizione di allarme. In questo caso l'attenzione si riferisce a una zona ampia del campo visivo e rappresenta una condizione opposta rispetto allo sguardo concentrato sullo stimolo. L'atleta si trova a sperimentare soprattutto queste due ultime situazioni in cui l'arousal accompagna la raccolta di informazioni, ovvero l'input, e l'attivazione accompagna la preparazione della risposta dell'organismo, o l'output (Pribram, 1977): l'arousal si riferisce a un abbassamento delle soglie di eccitabilità degli analizzatori corticali, mentre nell'attivazione è più importante la componente somatica, perché funzionale a un'adeguata preparazione della risposta comportamentale.

A evidenziare l'importanza del legame occhio-attenzione, confermata dal rapporto fra movimenti oculari e processi mentali, è stato osservato come la direzione degli occhi tenda a riflettere la direzione dell'attenzione anche in assenza di input visivi (Kahneman, 1981). Aree cerebrali responsabili della produzione di immagini mentali (aree delle regioni occipitali) sono parzialmente sovrapponibili a quelle della percezione visiva (Farah, 1989). Nei processi immaginativi sono coinvolti anche i recettori periferici, ovvero negli occhi sarebbero presenti modificazioni di curvatura del cristallino come se si guardassero «realmente» gli oggetti immaginati (Ruggieri e Alfieri, 1992).

### Processi cognitivi e accomodazione visiva

Uno dei primi sostegni a un modello visivo funzionale deriva dalle ricerche neurofisiologiche sulle cosiddette «miopie anomale» osservabili in alcune condizioni visive inusuali o sfavorevoli. Fra le miopie anomale, molto interesse è stato dedicato alla miopia che si verifica in condizioni di *illuminazione scotopica* (miopia notturna) e a quella associata alla fissazione in spazi aperti privi di punti di riferimento (*empty-field myopia*, o anche miopia da spazi aperti).

Nella metà degli anni '70, le miopie anomale furono sperimentalmente riprodotte in laboratorio (Leibowitz e Owens, 1975) e interpretate come risultato del passivo ritorno dell'accomodazione a

uno stato intermedio e individuale che fu chiamato *dark focus of accommodation* (DFA), che si verifica quando lo stimolo per l'accomodazione è assente, grossolanamente degradato o quando le condizioni ambientali non necessitano di una specifica risposta accomodativa. La successiva conferma di tale evidenza sperimentale permise di predire su base individuale l'entità di miopia in condizioni notturne o in spazi aperti senza punti di riferimento (Leibowitz e Owens, 1978).

Il sistema accomodativo non presenta uno stato rilassato nella visione da lontano e progressivamente più contratto con il diminuire della distanza: si trova in uno stato rilassato, anche definito «tonico», quando si verificano alcune situazioni ambientali e si posiziona nello spazio a una distanza finita, relativamente vicina all'occhio, soggetta a variazioni individuali, suscettibile di modificazioni determinate dall'attività visiva svolta precedentemente e soggettivamente sensibile a fenomeni legati a stress, al livello di arousal, all'attenzione e ad altri stati psicologici (Martin, 1974).

L'ipotesi di una doppia innervazione del muscolo ciliare, derivante sia dal sistema nervoso simpatico (SNSi) che parasimpatico (SNPa), risale al secolo scorso, seppure in assenza di riscontri anatomici. Sebbene sia evidente che il controllo autonomo dell'accomodazione è principalmente dovuto al SNPa, le ricerche sul DFA, confermate anche da indagini farmacologiche (Garner, Brown, Baker e Colgan, 1983; Gilmartin, Hogan e Thompson, 1984; Hogan e Gilmartin, 1985), hanno evidenziato che il controllo accomodativo è dovuto anche a un coinvolgimento del SNSi.

Tutto questo può produrre considerevoli ripercussioni sul modo di interpretare l'eziologia dei difetti refrattivi (Garner, 1983) e i fenomeni di affaticamento visivo, in particolare derivanti da attività visive prolungate a elevato contenuto attentivo e cognitivo, come nello sport. Se l'accomodazione statica non risulta influenzata dall'attività visiva svolta, il DFA mostra una significativa miopia, che si protrae anche dopo aver interrotto l'attività visiva cognitiva (Pigion e Miller, 1985).

La duplice innervazione del muscolo ciliare suggerisce che il DFA riflette un equilibrio fra gli stimoli parasimpatici, di contrazione, e quelli simpatici, di rilassamento; cosicché, uno stimolo che provoca un'attivazione simpatica dovrebbe far registrare valori di DFA inferiori rispetto a quelle condizioni con maggior influenza parasimpatica. Fenomeno analogo è registrabile anche per quanto riguarda l'equilibrio binoculare oculomotorio. Le azioni effettuate per indurre un'attivazione simpatica (come, per esempio, il contatto con oggetti freddi) hanno mostrato di diminuire le vergenze in modo più accentuato delle procedure disegnate per ridurre l'attività simpatica (come, per esempio, il rilassamento), mentre nell'oscurità è



stata confermata una mancanza di correlazione fra accomodazione e vergenze (Miller e Takahama, 1988).

L'abilità nel giudicare le distanze è un fenomeno che risente di molte caratteristiche individuali e situazionali. In condizioni monoculari la soggettività tende ad aumentare, cosicché fissando target a elevato contrasto la distanza apparente diminuisce con l'aumentare dell'accomodazione, mentre con target a basso contrasto la distanza apparente risulta poco influenzata dall'accomodazione (Fisher e Ciuffreda, 1988). La percezione delle distanze risente anche dell'attività visiva svolta precedentemente al momento di esprimere il giudizio. L'attenzione protratta a distanza prossimale produce un significativo aumento nella distanza apparente dei target da lontano aventi contrasto medio ed elevato. Al contrario, quella protratta al punto remoto mostra una piccola diminuzione nell'accomodazione tonica, ma nessuna alterazione significativa nella distanza apparente dei target ad alto contrasto (Fisher e Ciuffreda, 1989).

A sottolineare il ruolo di molteplici componenti mentali, l'abilità nel giudicare le distanze dipende anche dalla consapevolezza individuale del luogo nel quale ci si trova. L'accomodazione tonica risulta significativamente più alta quando ai soggetti viene permesso di osservare preliminarmente le dimensioni e le caratteristiche del luogo (Rosenfield e Ciuffreda, 1991).

L'influenza degli stati psicologici sull'efficienza accomodativa, che a loro volta risulta in variazioni nella percezione delle distanze, è stata oggetto di molti studi di psicologia sperimentale. Così come altre funzioni regolate dal SNA, anche per l'accomodazione è stata dimostrata la possibilità di acquisire un controllo cognitivo volontario mediante procedure di biofeedback (Trachtman, 1978). Particolarmente attenta è stata la ricerca sulle possibili correlazioni fra le variazioni accomodative indotte da attività cognitive e l'innervazione del muscolo ciliare. L'accomodazione tonica ha mostrato ampie variazioni durante l'esecuzione di attività aritmetiche mentali (Jaschinski-Kruza e Toenies, 1988) e notevoli differenze passando da condizioni di riposo a condizioni di conteggio matematico mentale (Gawron, Paap e Malmstrom, 1985), mentre sono risultate modeste le variazioni durante test di memoria visiva e uditiva. Considerato che il SNSi produce una diminuzione accomodativa, è stato ipotizzato che fenomeni di stress emotivo, inducenti attivazione simpatica, dovrebbero indurre anche variazioni accomo-

dativa. Lo stress psicologico indotto da immagini visive si è dimostrato in grado di produrre variazioni accomodative prevedibili (Miller e Takahama, 1987). Elevati livelli di attività cognitiva hanno dimostrato di indurre variazioni di accomodazione tonica fino a una diottria, registrando anche ampie variazioni soggettive (Bullimore e Gilmartin, 1987).

Recentemente molto interesse è stato dedicato alle fibre del SNSi, che originano dalla ghiandola pituitaria e si dirigono verso il bulbo oculare, al ruolo dell'innervazione da parte del SNSi dei muscoli retti esterni (Calvo e Fernandez-Guardiola, 1984) e alle vie nervose. Il bulbo oculare è infatti collegato con l'ipotalamo (Sadun, Johnson e Schaechter, 1986), che funge da mediatore per sensazioni quali la fame, la rabbia, gli stimoli sessuali, vari comportamenti emotivi, ed è inoltre coinvolto nella regolazione della temperatura e della pressione corporea. Appare quindi dimostrato che la funzione visiva non è in relazione con processi solo motori e sensoriali. Per esempio, la presenza di certi stimoli visivi è in grado di evocare sentimenti ed emozioni. Di notevole interesse sono anche le ricerche sugli effetti psicofisiologici delle procedure di visualizzazione, molto efficaci per indurre stati di rilassamento muscolare (Ashen, 1984).

### *Stress, funzione visiva e sforzo*

L'occhio umano presenta una configurazione neurologica insolita e particolarmente complessa essendo collegato al SNA, a terminazioni nervose sensoriali e a terminazioni nervose scheletriche. L'unica componente nervosa sensoriale dell'occhio è la retina, mentre tutte le altre derivazioni possiedono scopi motori: i muscoli dell'iride e il muscolo ciliare del cristallino sono componenti motorie innervate specificamente dalla componente autonoma del sistema nervoso; i muscoli oculomotori sono componenti motorie innervate specificamente dal sistema nervoso scheletrico.

Essendo una parte del sistema visivo controllata dalla parte viscerale e l'altro da quella scheletrica, devono necessariamente esistere meccanismi omeostatici che proteggono la funzione visiva globale dall'iperfunzione dell'una o dell'altra parte o da interferenze dovute alle loro azioni sinergiche (Forrest, 1988). Se non ci fosse «tolleranza» tra la funzione accomodativa e quella delle vergenze, la più piccola variazione potrebbe sconvolgere in modo radicale l'efficienza del processo visivo.



La tipica risposta iniziale verso un fattore di stress è una reazione del SNS: un medesimo processo avviene a livello del sistema visivo. La reazione iniziale si traduce nel comando all'accomodazione a posizionarsi in un punto dello spazio più lontano rispetto a quello che si avrebbe in condizioni di equilibrio. Il fenomeno è apparso analogo a quello che si verifica in altre parti dell'organismo, dove gli stimoli dapprima si dirigono attivamente verso i meccanismi estensori e poi verso quelli flessori (Goldstein, 1939).

La tendenza a posizionare l'accomodazione più lontano nello spazio, in relazione sia al processo di «identificazione», di cui è parte, sia al processo di «centraggio», crea una dissonanza interna che l'organismo cerca in qualche modo di risolvere conciliando la discrepanza fra l'azione del meccanismo di accomodazione e quella del processo di identificazione per ottimizzare energie e rendimento. È stato evidenziato che il tentativo di ripristinare l'equilibrio visivo avviene generalmente attraverso tre diversi stili che differiscono per il pattern di adattamento osservabile (Forrest, 1988).

Il modello classico interpreta l'affaticamento visivo come la conseguenza di uno sforzo e il disagio come direttamente correlato a una forma di consumo di energia. L'affaticamento sarebbe il risultato dello sforzo del sistema accomodativo, per mantenere la messa a fuoco, e del sistema delle vergenze, per mantenere l'allineamento degli assi visivi. Lo sforzo è quindi visto come una causa dei disturbi: è in effetti il risultato dello stress e non la

causa. Ciascuno dei 12 muscoli oculomotori è 50-100 volte più forte di quanto effettivamente necessario per la motilità oculare (Lancaster, 1923), e così nemmeno il sistema delle vergenze dovrebbe risentire di affaticamento in circostanze normali: il disagio oculare viene avvertito quando il rendimento visivo diminuisce fino a un punto individualmente considerato insoddisfacente per l'organismo, e funzionalmente, secondo questo concetto, ogni individuo ha un livello minimo di rendimento accettabile. Studi più recenti sembrano invece attribuire ai processi di inibizione corticale la fonte principale dello sforzo durante le attività attentive (Pribram e Mc Guinness, 1975; 1978).

È stato ipotizzato che in persone sottoposte allo stesso tipo di stress, con reazioni differenti nel modello e nel tempo, la strategia utilizzata in situazioni di *decision-making* sia correlata con il comportamento percettivo e riflessa in molti altri stili operativi, indicando come principali fattori di stress l'atteggiamento e lo stato d'animo dell'individuo, la sua predisposizione, il suo stato mentale prima e durante lo svolgimento dell'impegno visivo (Forrest, 1980; 1988). L'attitudine analitica è stata definita come «pensiero convergente», o *convergence thinking* (Guilford, 1967), oppure «stile di pensiero verticale», o *vertical thinking style* (De Bono, 1968; 1969).

#### • BOX 1 • GLI «ANALIZZATORI» SENSORIALI

Le stimolazioni sensoriali pervengono al sistema di elaborazione delle informazioni attraverso gli organi di senso. Informazioni esterocettive (provenienti dall'esterno dell'organismo) importanti per il movimento sono raccolte per mezzo della vista, dell'udito e del tatto; informazioni propriocettive o cinestesiche (interne all'organismo) sono raccolte attraverso l'apparato vestibolare e i recettori situati nei muscoli, nei tendini e nelle articolazioni.

L'*analizzatore visivo* (recettore di distanza o telerecettore), che convoglia più dell'80% delle informazioni esterne, svolge un ruolo estremamente importante per il controllo e la coordinazione dei movimenti. Esso fornisce informazioni relative alla propria azione, alle modifiche situazionali e alle relazioni spazio-temporali fra sé e

l'ambiente (compagni, avversari, attrezzi). Il ruolo della visione è pienamente evidente negli sport di situazione in cui l'atleta deve costantemente effettuare un monitoraggio visivo, più o meno consapevole, degli spostamenti e delle azioni dell'avversario. Tali informazioni costituiscono la base di previsioni anticipatorie per avviare azioni e scelte tattiche appropriate. L'analizzatore visivo, in sostanza, consente di ottenere informazioni relative alla velocità e alla direzione dei movimenti propri, di altre persone e degli attrezzi. Ha un ruolo molto importante anche nelle discipline *closed skill*, per il mantenimento e/o il ripristino dell'equilibrio: l'«aggancio visivo» è un meccanismo di stabilizzazione (per esempio, durante le rapide rotazioni del corpo di una ballerina).



L'importanza della visione è in relazione alle caratteristiche dell'attività; non è sempre utile affidarsi completamente a un controllo visivo, soprattutto quando informazioni derivanti da altri analizzatori, necessarie per la prestazione, rischiano di essere oscurate o poste in secondo piano. Nella scherma, lasciare che il controllo visivo domini su quello cinestesico, più rapido, ha come effetto un rallentamento dei tempi di risposta (Jordan, 1972). In tali circostanze sono utili esercitazioni a occhi chiusi, sia per prevenire un'eccessiva dominanza visiva sia per incrementare il controllo da parte degli altri organi sensoriali (senso cinestesico, tatto e udito in particolare).

Dall'*analizzatore acustico* (altro telerecettore) derivano informazioni relative ai rumori provocati dal movimento e che ad esso si accompagnano: il rimbalzo della pallina da tennis, l'entrata del remo in acqua, lo sfregamento degli sci sulla neve, il contatto con la palla, ecc. L'atleta esperto, in certi sport, è in grado di discriminare la correttezza del gesto tecnico dal rumore che deriva dall'azione. Ma oltre che per recepire i rumori, l'udito è necessario per ricevere i messaggi verbali e mettersi così in comunicazione con altre persone (i compagni, l'allenatore, ecc.). In alcune discipline tecnico-compositive, la struttura ritmica del movimento è strettamente connessa con l'accompagnamento musicale, che ne condiziona aspetti tecnici ed estetici.

L'*analizzatore tattile* ha i suoi recettori, specializzati per rilevare il senso tattile, la pressione e la temperatura, situati sulla superficie della cute. Esso gioca un ruolo rilevante nel controllo del movimento fine e nella graduazione degli impulsi di forza, come nella sincronia di movimento nel pattinaggio in coppia, nel controllo dell'avversario nel judo, nella pressione sull'asta nelle varie fasi del salto, nel «senso della palla» nei giochi sportivi, nei lanci e nelle riprese di attrezzi nella ginnastica ritmica, ecc.

L'*analizzatore cinestesico* (proprioettore) riceve stimolazioni dalla muscolatura, dai tendini e dalle articolazioni del corpo attraverso l'intervento di recettori specifici, quali i fusi neuromuscolari e gli organi-tendinei di Golgi; dà informazioni sulle tensioni muscolari e sulle loro variazioni anche

minime, sugli angoli articolari e, quindi, sul rapporto spaziale dei segmenti corporei fra loro. Attraverso le informazioni cinestetiche è possibile la sintonia e il gioco fine di contrazioni e decontrazioni, che caratterizza il movimento fluido. Notevole è l'importanza dell'analizzatore cinestesico in quanto qualsiasi atto motorio, di per sé, è fonte di una notevole quantità di informazioni somatiche. Nel processo di apprendimento questo analizzatore assume un ruolo via via maggiore consentendo un sempre più preciso, rapido ed efficace controllo automatizzato del movimento; questo è vero tanto nelle discipline *closed*, come accade nella tenuta di una verticale agli attrezzi, quanto nelle discipline *open*, quando sono registrate le sensazioni provocate dalla risposta dell'avversario dopo una spinta.

L'*analizzatore vestibolare* (altro proprioettore, denominato anche analizzatore statico-dinamico) è situato nell'orecchio interno e fornisce segnali collegati ai movimenti nello spazio, dato che le sue strutture sono sensibili alle accelerazioni e decelerazioni del capo, ai movimenti angolari e all'orientamento della testa in rapporto alla forza di gravità. La sua interazione con i recettori della muscolatura del collo, in particolare, ha un ruolo nell'apprezzamento della posizione del capo in rapporto agli altri settori corporei e all'ambiente. Esso offre un importante contributo ai fini dell'equilibrio; ciò è evidente considerando il ruolo pilota del capo nel guidare i movimenti del resto del corpo, come nell'acrobatica e nei tuffi, reso possibile dall'integrazione delle stimolazioni vestibolari con quelle cinestetiche del collo.

I diversi analizzatori, ognuno con il proprio specifico contributo nella raccolta di informazioni interne ed esterne all'organismo, consentono di preparare l'azione e, una volta che questa è avviata, di controllarne il corso e verificarne l'esito finale. Solo l'interazione, l'integrazione e la sintesi delle diverse afferenze sensoriali permette al soggetto di acquisire il *senso del movimento* (Hotz, 1985). Il peso specifico di ognuno dei cinque analizzatori sarà determinato, oltre che da caratteristiche individuali, dalle esigenze di ogni singola disciplina sportiva e dal livello di apprendimento. Stimoli propriocettivi, relativi ad accele-



razione, ampiezza, direzione, forza, posizione e velocità del movimento, sono ovviamente di maggiore importanza nelle abilità che primariamente dipendono, per un corretto svolgimento, da informazioni sui movimenti del corpo nello spazio, come avviene nel salto giro al trampolino. Se invece sono più importanti le referenze esterne, come in un servizio del tennis, le informazioni visive sono di rilevanza maggiore (Graydon e Townsend, 1984). Nelle fasi iniziali dell'apprendimento sono in ge-

nere dominanti le informazioni visive, mentre la sensibilità cinestesica è maggiore negli stadi più avanzati di acquisizione e perfezionamento del gesto. L'interazione dei diversi analizzatori permette, inoltre, di affinare la percezione del tempo, non essendovi nell'organismo alcun recettore specializzato per questo compito (Rossi, 1989). La stima delle durate temporali è facilitata dall'esperienza e dalla conseguente formazione di un'immagine mentale di riferimento.

## BIBLIOGRAFIA

- ASHEN A.: *ISM: the triple code model for imagery and psychophysiology*, Journ. of Mental Imagery, 8, 1984.
- BALBONI G.C., BASTIANINI A. et al.: *Anatomia umana*, Edi-Ermes, Milano, 1993.
- BOUMA H.: *Interaction effects in parafoveal letter recognition*, Nature, 226: 177, 1970.
- BULLIMORE M.A., GILMARTIN B.: *Tonic accommodation, cognitive demand, and ciliary muscle innervation*, Am. Journ. Optom. Physiol. Opt., 64: 499, 1987.
- CALVO J.M., FERNANDEZ-GUARDIOLA A.: *Phasic activity of basolateral amygdala gyrus and hippocampus during REM sleep in the cat*, Sleep, 7: 1984.
- DE BONO E.: *New think: the use of lateral thinking in the generation of new ideas*, Basic Books, New York, 1968.
- DE BONO E.: *Mechanism of mind*, Simon & Schuster, New York, 1969.
- DODD J., CASTELLUCCI V.F.: *Small and taste: the chemical senses*, in KANDEL E.R., SCHWARTZ J.H., JESSEL T.M. (eds.): *Principles of neural science*, Appleton & Lange, Norwalk, 1991.
- DUFFY E.: *Handbook in psychophysiology*, Basic Books, New York, 1972.
- FARAH M.J.: *Mechanisms of imagery: perception interaction*, Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance, 15: 203, 1989.
- FISHER S.K., CIUFFREDA K.J.: *Accommodation and apparent distance*, Perception, 17: 609, 1988.
- FISHER S.K., CIUFFREDA K.J.: *The effect of accommodative hysteresis on apparent distance*, Ophthalmic Physiol. Opt., 9: 184, 1989.
- FORREST E.B.: *Stress: a redefinition*, Journ. Am. Optom. Ass., 2: 137, 1980.
- FORREST E.B.: *Stress and vision*, OEPF, 1988.
- GARNER L.F.: *Mechanism of accommodation and refractive error*, Ophthalmic Physiol. Opt., 3: 287, 1983.
- GARNER L.F., BROWN B., BAKER R., COLGAN M.: *The effect of phenylephrine-hydrochloride on the resting point of accommodation*, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 24: 393, 1983.
- GAWRON V.J., PAAP K.R., MALMSTROM F.V.: *The effects of task performance on ocular accommodation and perceived size*, Aviat. Space Environ. Med., 56: 225, 1985.
- GILMARTIN B., HOGAN R.E., THOMPSON S.M.: *The effect of Timolol-Maleate on tonic accommodation, tonic vergence, and pupil diameter*, Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 25: 763, 1984.
- GOLDSTEIN K.: *The organism*, American Book Co., New York, 1939.
- GRAYDON J.K., TOWNSEND J.: *Proprioceptive and visual feedback in the learning of two gross motor skills*, International Journal of Sport Psychology, 15: 227, 1984.
- GUILFORD J.P.: *The nature of human intelligence*, Mc Graw-Hill, New York, 1967.
- GUYTON A.C.: *Neuroscienze. Basi di neuroanatomia e neurofisiologia*, Piccin, Padova, 1991.
- HOGAN R.E., GILMARTIN B.: *The relationship between tonic vergence and oculomotor stress induced by ethanol*, Ophthalmic Physiol. Opt., 5: 43, 1985.
- HOTZ A.: *Apprentissage psychomoteur*, Vigot, Paris, 1985.
- JASCHINSKI-KRUZA W., TOENIES U.: *Effect of a mental arithmetic task on dark focus of accommodation*, Ophthalmic Physiol. Opt., 8: 432, 1988.
- JORDAN T.C.: *Characteristics of visual and proprioceptive response times in the learning of a motor skill*, Journal of Experimental Psychology, 24: 536, 1972.
- KAHNEMAN D.: *Psicologia dell'attenzione*, Giunti e Barbera, Firenze, 1981.



- KANDEL E.R., JESSEL T.M.: *Touch*, in KANDEL E.R., SCHWARTZ J.H., JESSEL T.M. (eds.): *Principles of neural science*, Appleton & Lange, Norwalk, 1991.
- KELLY J.P.: *I principi dell'organizzazione funzionale ed anatomica del sistema nervoso*, in KANDEL E.R., SCHWARTZ J.H., JESSEL T.M. (eds.): *Principles of neural science*, Appleton & Lange, Norwalk, 1991.
- KLINKE R.: *Senso dell'equilibrio, dell'udito e della parola*, in SCHMIDT R.F., THEWS G.: *Neurofisiologia*, Idelson Liviana, Napoli, 1993.
- LANCASTER W.B.: *Certain anatomical and physiological considerations bearing on heterophoria*, *South Med. Journ.*, 16, 1923.
- LEIBOWITZ H.W., OWENS D.A.: *Anomalous myopias and the intermediate dark fokus of accommodation*, *Science*, 189: 646, 1975.
- LEIBOWITZ H.W., OWENS D.A.: *New evidence for the intermediate position of relaxed accommodation*, *Doc. Ophthalmol.*, 46: 133, 1978.
- LURIA A.R.: *Come lavora il cervello. Introduzione alla neuropsicologia*, Il Mulino, Bologna, 1977.
- MARTIN E.: *Saccadic suppression: a review and a analysis*, *Psychological Bulletin*, 81: 899, 1974.
- MELZACK R.: *L'enigma del dolore*, Zanichelli, Bologna, 1976.
- MILLER R.J., TAKAHAMA M.: *Effects of relaxation and aversive visual stimulation on dark focus accommodation*, *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 7: 219-223, 1987.
- MILLER R.J., TAKAHAMA M.: *Arousal related changes in dark focus accommodation and dark vergence*, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 29: 1168, 1988.
- MOUNTCASTLE U.B.: *Central nervous mechanism in mechano receptive sensibility*, in DARRIAH-SMITH I.: *Handbook of physiology*, American Physiological Society, Bethesda, 1984.
- PIGION R.G., MILLER R.J.: *Fatigue of accommodation: changes in accommodation after visual work*, *Am. Journ. Optom. Physiol. Opt.*, 62: 853, 1985.
- PINELLI P.: *Il sistema somato-sensoriale*, in SCHMIDT R. (ed.): *Metodi di analisi dei sistemi neurosensoriali*, Patron, Bologna, 1986.
- PRIBRAM K.H., MC GUINNESS D.: *Arousal, activation and effort in the control of attention*, *Psycholog. Rev.*, 3: 181, 1975.
- PRIBRAM K.H., MC GUINNESS D.: *Central control systems in attention and memory*, VIII Annual College of Optometrists in Vision Development Meeting, 1978.
- ROSENFELD M., CIUFFREDA K.J.: *The effect of surround propinquity on the open-loop accommodative response*, *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 32: 142, 1991.
- ROSSI B.: *Processi mentali e sport*, Scuola dello Sport - CONI, Roma, 1989.
- RUGGIERI V.: *Semeiotica dei processi psicofisiologici e psicosomatici*, Il Pensiero Scientifico, Roma, 1987.
- RUGGIERI V.: *Mente corpo malattia*, Il Pensiero Scientifico, Roma, 1988.
- RUGGIERI V., ALFIERI G.: *The eyes in imagery and perceptual processes: first remarks*, *Perceptual and Motor Skills*, 75: 287, 1992.
- SADUN A.A., JOHNSON B.M., SCHAECHTER J.: *Neuroanatomy of the human visual system: three retinal projections to the hypothalamus*, *Neuro-Ophthalmology*, 6, 1986.
- SARAUX H., BIAIAS B.: *Physiologie oculaire*, Masson, Paris, 1973.
- SCHMIDT R.A.: *Motor control and learning: a behavioral emphasis*, Human Kinetics, Champaign, 1988.
- SOKOLOV E.N.: *Perception and the conditioned reflex*, Pergamon, Oxford, 1963.
- TRACHTMAN J.N.: *Biofeedback of accommodation to reduce functional myopia*, Doctoral Dissertation, Yeshiva University, 1978.
- ZIMMERMANN M.: *Il sistema sensoriale somatico e viscerale*, in SCHMIDT R.F., THEWS G. (eds.): *Neurofisiologia*, Idelson Liviana, Napoli, 1993.