

Zeitschrift: Physiotherapie = Fisioterapia
Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
Band: 34 (1998)
Heft: 5

Artikel: Immagine motoria ed esercizio terapeutico : nuove conoscenze e possibili implicazioni riabilitative
Autor: Vigezzi, Ambrogina / Ferri, Andrea / Monaceill, Luigi
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-929272>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Immagine motoria ed esercizio terapeutico

Nuove conoscenze e possibili implicazioni riabilitative

Ambrogina Vigezzi, Terapista della Riabilitazione, Centro Riabilitazione Sementina

Andrea Ferri, Terapista della Riabilitazione, Centro Riabilitazione Sementina

Luigi Monacelli, Capo Terapista, Centro Riabilitazione Sementina

(Gli Autori desiderano esprimere un sincero ringraziamento alle Direzioni Medica ed Amministrativa del Centro di Riabilitazione di Sementina, che hanno reso possibile la realizzazione del presente lavoro.)

Il Perfezionamento dei mezzi di studio quali la Tomografia ad emissione di positroni (PET), la Risonanza Magnetica Funzionale (RMF) e la Tomografia Computerizzata ad emissione di fotone singolo (SPECT) hanno rivoluzionato ultimamente lo sviluppo delle tecniche di imaging cerebrale, al punto che l'interesse per questo tema è penetrato nei confini della riabilitazione, come testimonia anche il tema di un recente Convegno (9). In Neurofisiologia, l'immagine motoria viene definita come una condizione dinamica, durante la quale le rappresentazioni di un dato atto motorio sono internamente richiamate nella memoria operativa in assenza di alcun evidente output motorio: dalle immagini sarebbe possibile risalire alla complessità di quel processo chiamato «pensiero» perché sono proprio le immagini che compongono la futura azione (11). Quali nuove prospettive per il nostro lavoro quotidiano e per i nostri pazienti?

Premessa

(il nuovo paradigma)

Il tema di questo articolo rende necessaria una premessa storica sulle correnti di pensiero che hanno influenzato la formulazione e le tendenze della ricerca orientata e specificamente finalizzata allo studio del movimento: ciò al fine di introdurre nuove problematiche relative ai più attuali e moderni argomenti concernenti i meccanismi dell'organizzazione motoria. Questo tipo di analisi, che per motivi di spazio sarà sviluppata in maniera alquanto succinta, viene condotta al fine di introdurre quell'argomento di pressante attualità rappresentato dal dibattito relativo alla «immagine motoria» che è tuttora in corso tra Neuroscienziati di varie nazionalità, per vedere se, e in quale modo, essa possa influire sulla progettazione dell'esercizio terapeutico.

La disciplina che si occupa del recupero delle funzioni alterate ha infatti bisogno di conoscere sempre meglio i processi che si suppone siano alla base del movimento normale e di quello che l'evento patologico manifesta con il segno disabilitante (6). Spesse volte il riabilitatore si è dedicato al recupero di funzioni complesse come per esempio il cammino, interessandosi unicamente ai suoi aspetti biomeccanici: ciò conduce di fatto a porre grande attenzione al segno disabilitante, trascurando quei processi che ne stanno alla base e che probabilmente renderebbero possibile un più efficace riapprendimento della funzione alterata. Nuovi e più attuali orientamenti di studio trattano processi quali la visione, l'apprendimento e l'integrazione sensomotoria alla luce della scoperta delle proprietà computazionali del cervello (8); solo a titolo di esempio,

basti pensare che, anche discipline come la Neurofisiologia e la Bioingegneria, si avvicinano allo studio del cammino nella sua qualità di risultato di multipla, simultanea e parallela elaborazione di dati (*parallel distributed processing*) attuata ai diversi livelli del Sistema Nervoso Centrale e le forze meccaniche prodotte dalla contrazione muscolare vengono ormai studiate in qualità di prodotto esteriore di questa complessa elaborazione: di qui la rinuncia ad una visione meccanicistica e riduzionista esclusivamente fenomenica, che viene bene espressa nella seguente affermazione di alcuni autorevoli studiosi «...noi camminiamo con il cervello e non con le gambe» (22).

La ricerca sull'attività motoria infatti rivolge ormai il proprio interesse non tanto al compito inteso come prestazione motoria osservabile ma piuttosto ai processi mentali che sottostanno all'esecuzione del compito stesso. Questo tipo di approccio, di cui Bernstein rappresenta uno dei più autorevoli esponenti, ha spinto il Neuroscienziato ad interrogarsi e ad affrontare nuovi e più complessi problemi inerenti lo studio della fisiologia *dell'attività* motoria (3), e ciò ha condotto a nuove scoperte che hanno inevitabili conseguenze anche sul piano riabilitativo: basti pensare alla enorme quantità di dati proveniente da quelle Scienze che si occupano della codifica e dell'immagazzinamento dell'informazione relativa al movimento, di come siano rappresentate le azioni in memoria, di come avvenga il rilevamento dell'errore e di come esso possa influenzare *l'apprendimento* (21).

Recentemente, ulteriori strumenti ed innovativi mezzi di ricerca sono stati messi a disposizione dallo sviluppo di nuove tecnologie, e queste hanno permesso di affrontare argomenti che solo fino a pochi anni or sono sarebbero stati considerati dalla comunità scientifica come troppo «mentalisti» o comunque guardati con sospetto perché non sotoponibili al vaglio di una scienza bisognosa di dati esatti ed oggettivabili. Le attuali tecniche di visualizzazione funzionale del cervello come la PET e le tecniche di imaging quali la RMF o la SPECT hanno influenzato gli studi cognitivi, permettendo la descrizione e la misurazione in vivo degli eventi che intercorrono nel corso di operazioni mentali: l'aumento del flusso ematico in determinate aree locali rivelerebbe le specifiche computazioni eseguite dal soggetto nell'espletamento di differenti compiti «mentali» (24).

Introduzione al problema

(breve excursus storico)

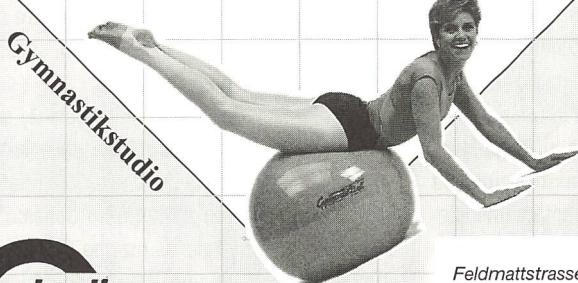
Fino a non molto tempo fa, e per molti anni, gli scienziati occupati nello studio del movimento, si sono confrontati sulle differenti opinioni relative

Die individuelle Einrichtung

Physikalische Therapie

Gymnastik-Training
Therapie- und Massageliege
Lagerungshilfen • Polster • Wäsche
Reinigungs-, Desinfektions-Pflegeprodukte
Thermo-Therapie – kalt/warm • Massagematerial
Vorhänge • Mobiliar • Stühle • Extension-Manipulation
Infrarot-Solarien • Sauna • Dampfbadprodukte • Hydro-Therapie
Badezusätze • Elektro-Therapie • Geräte-Zubehör • US-HF-Therapie
Puls-, Blutdruck-Messgeräte • Anatomisches Lehrmaterial

Innovativ
in
Planung • Verkauf • Service



Jardin
Medizintechnik ag

Feldmattstrasse 10
CH-6032 Emmen
Tel. 041-260 11 80
Fax 041-260 11 89

GYMplus

Helfen Sie Ihren Patienten, schneller gesund zu werden.

Über 700 Übungen im Grundpaket!

Weitere Sammlungen für Zugmaschinen,
MTT, Gewichte, Inkontinenz, Rückenschule,
Hydrotherapie, Pädiatrie, usw...

Software für Physiotherapien natürlich von
SOFTplus Entwicklungen GmbH
Unterdorf 143, 8933 Maschwanden
Telefon 01-768 22 23
Telefax 01-767 16 01

Fragen Sie nach einem unverbindlichen Katalog
aller Sammlungen oder nach einer Demodiskette!



Bitte
berücksichtigen
Sie beim Einkauf unsere
Inserenten.

ins Leben ...

Technik bringt Schwung

Primus/Bagno der Nachtschwärmer

SKS

Erwarten Sie ruhig mehr als nur einen Rollstuhl!

Als Sortiments-Vollanbieter können wir Privat-Kunden und Institutionen umfassend beraten, denn

- unsere Erfahrung basiert auf jahrelangem Kontakt mit Rollstuhl-Benutzern
- wir verkaufen nicht nur Rollstühle, wir stellen sie her – ein Plus für Sie
- für Ihre persönlichen Bedürfnisse finden Sie bei uns individuelle Lösungen
- auch nach dem Kauf können Sie von uns mehr erwarten als von vielen anderen – unsere Servicestellen in der ganzen Schweiz gewähren einen sorglosen Alltag.

Weitere Vorteile...

- Sie werden betreut durch kompetente, regionale Fachberater
- unverbindliche Vorführungen und Probefahrten bei Ihnen
- Schweizer Produkte mit hohem Qualitätsstandard
- Ersatzteile auf Jahre hinaus

SKS Rehab AG

Im Wyden • 8762 Schwanden
Telefon 055 647 35 85
Telefax 055 647 35 86
<http://www.sks-rehab.ch>

Ja, ich möchte Gratis-Infos über
 Normal- Aktiv- Elektro-Rollstühle Toiletten-/Duschstühle
 Name/Vorname _____
 Strasse/PLZ Ort _____
 Rufen Sie mich an, Telefon _____

alle diverse modalità che si supponevano essere alla base dei meccanismi del «controllo motorio»; ciò avvenne ipotizzando diversi modelli di funzionamento a seconda delle differenti conferme sperimentali disponibili all'epoca. La storia delle discussioni teoriche, ed in definitiva, delle idee alla base di questi dibattiti, si è concretizzata nello scontro avvenuto tra chi ipotizzava l'esistenza di una modalità di controllo a «circuito chiuso» e chi invece sosteneva una modalità di controllo a «circuito aperto».

Questo dibattito è stato molto importante, ed ha orientato gli sforzi e la ricerca che caratterizza la riabilitazione in chiave moderna, inserita nella storia e nella cultura del proprio tempo, conducendo nel contempo al superamento di modi di vedere il movimento secondo ottiche elementari per lo più «muscolo-centrifiche» o «riflesso-dipendenti» che non prendevano in necessaria considerazione l'apporto estremamente importante proveniente da Scienze quali la Neuropsicologia e le Neuroscienze in genere; queste, che possono essere considerate «Scienze di base» forniscono infatti preziosi strumenti per impostare l'intervento riabilitativo nel rispetto dei principi dell'organizzazione del movimento e non solo in base alla sua natura «fenomenica».

Ricordando che il concetto di «controllo» indica la capacità di regolare la Spazialità, la Temporalità e la Intensità di un determinato movimento (23), sottolineiamo che l'interesse per il riabilitatore sull'andamento di questa intensa disputa tra le diverse correnti di pensiero che si confrontavano su quale fosse la più corretta interpretazione del concetto di controllo, presenta ovvie conseguenze sul piano sia teorico che operativo: infatti, nell'ambito dei processi di apprendimento di un determinato movimento, la concezione legata al circuito chiuso attribuisce la massima importanza al ruolo svolto dalle afferenze di ritorno (o feedback reafferente), negata invece dai sostenitori del modello a circuito aperto.

Con ogni probabilità il portavoce più importante della corrente di pensiero legata al concetto di controllo motorio a circuito aperto è Lashley, che a buon diritto può essere considerato il fondatore di quella corrente di pensiero definita «Centralista». Enunciando una modalità di controllo a circuito aperto, i Centralisti, sostenevano l'esistenza di «programmi motori» inscritti nella specie che il soggetto può attivare ogni volta che si trova di fronte alla necessità di compiere un'azione; l'esistenza di questi programmi innati, rendrebbe dunque irrilevante l'apporto del feedback periferico, dal momento che, il controllo motorio avverrebbe esclusivamente attraverso l'attivazione di programmi centralmente controllati (17). La posizione dei Centralisti è stata combattuta da una differente corrente di pensiero: quella

dei Periferalisti. L'esponente più autorevole di questa concezione è Adams, che ha invece sostenuto una modalità di controllo a circuito chiuso, modello all'interno del quale la rilevanza del feedback è determinante anche quando questo non si presenta in forma cosciente, al fine di permettere la verifica e il controllo delle modalità di attuazione della prestazione (1).

Un importante contributo alla chiarezza su questo argomento è giunto dal lavoro di alcuni Autori come Welford e Glencross, che possiamo sinteticamente ricondurre a quella corrente di pensiero che si può definire degli «Integralisti». Essi hanno sostenuto una modalità di controllo a circuito aperto o chiuso a seconda dello «stadio» di apprendimento di una determinata prestazione. In particolare, Welford distingue tre stadi nell'apprendimento di una azione motoria. Nel primo stadio (Input), che è praticamente quasi esclusivamente recettivo si verificherebbe l'arrivo delle informazioni; il secondo stadio (Translation) permetterebbe alle singole informazioni di associarsi e correlarsi in maniera più organizzata; nel terzo stadio (Output) le associazioni tra singoli elementi cominciano a diventare un insieme organizzato di relazioni, molto simile ad un «programma» più indipendente dal feedback, a testimonianza che è avvenuto un processo di «apprendimento» (7). Queste nuove concezioni sono particolarmente importanti per il riabilitatore perché le diverse fasi dei vari processi che contribuiscono alla formazione di un determinato «programma motorio» dipendono anche da fattori quali l'Attenzione ed i tempi dell'arrivo del feedback in relazione alla velocità dell'esecuzione, che specie nelle fasi iniziali dell'apprendimento giocano un ruolo fondamentale.

Se esaminato più attentamente però anche questo modo di interpretare il movimento presenta alcuni limiti, in quanto non risolve il problema della «flessibilità e dell'immagazzinamento». Sia che esistano tanti programmi oppure tanti sistemi di controllo, essi sono comunque diversi da atto ad atto, ed è pertanto necessario affrontare il problema del loro immagazzinamento: in altre parole come fa il soggetto ad immagazzinare tutti i movimenti che ha appreso? E dove può esistere un magazzino in grado in qualche modo di contenere tutti? E ancora, come è possibile spiegare la comparsa e la esecuzione di movimenti nuovi mai eseguiti in precedenza?

E' sufficiente pensare agli innumerevoli modi con i quali un soggetto può eseguire la propria firma: utilizzando il polso, oppure anche l'avambraccio o l'intero arto volendo farla ancora più grande, oppure utilizzando anche il gastrocnemio per alzarsi sulla punta dei piedi al fine di eseguire una firma su di una lavagna. Si pone pertanto il problema di come sia possibile immagazzinare

tutte le sequenze e le molteplici catene cinetiche diverse che di volta in volta attiviamo per fare una prestazione apparentemente unica. L'originale concetto di controllo quindi non spiega la «flessibilità» o la «variabilità» cioè la capacità del soggetto di apportare correzioni nel compimento della stessa azione rispetto a tutte le diverse situazioni *ambientali* (19).

Il principale limite di questo modo di concepire il controllo motorio risiede quindi nel fatto che la sequenza dei comandi ai muscoli sarebbe appropriata solamente per un unico movimento, avendo inizio con il corpo in una specifica posizione, e con un obiettivo identico, mentre numerosi studi cinematici hanno da tempo dimostrato che è verosimile che la stessa risposta non venga mai prodotta due volte allo stesso modo (4). Quindi, una soddisfacente teoria dell'apprendimento motorio deve essere in grado di spiegare anche la produzione di tali nuovi movimenti, superando le manchevolezze precedenti.

La teoria dello «Schema» (vedi figura 1) si propone come il superamento della impasse a cui hanno condotto le precedenti posizioni relative al concetto di controllo motorio. Lo Schema è da considerarsi come una astrazione di un «set di stimoli» che richiede una certa modificazione per permetterne la applicazione alla produzione della risposta motoria: viene proposta l'esistenza di insiemi strutturati di «regole» che formano dei programmi motori generalizzati in grado di offrire i comandi prestrutturati per una quantità di movimenti. Quando un individuo produce un movimento utile al soddisfacimento di un obiettivo, immagazzina quattro cose: (a) le condizioni iniziali, (b) le specificazioni di risposta per il programma motorio, (c) le conseguenze sensoriali della risposta prodotta, e (d) la conseguenza di quel movimento.

Il programma motorio per gli innumerevoli modi in cui è possibile eseguire il lancio di una palla, per esempio, può essere modificato in base alla necessità di lanciare lentamente oppure velocemente; la teoria dello schema prevede che non esista una infinita serie di «programmi» per tutti i differenti lanci possibili, ma che il problema dell'esecutore nella scelta del movimento consista nella determinazione delle specificazioni di risposta che dovranno modificare gli esistenti programmi motori già immagazzinati (26). Nel corso dell'allenamento il soggetto va incontro ad un processo di apprendimento che lo conduce alla formazione di uno Schema molto solido ed altamente automatizzato, e sarà pertanto in grado di fornire un grande numero di specificazioni prima dell'inizio del movimento, in modo da far fronte alla grande *variabilità dell'ambiente* senza dovere attendere i tempi di arrivo del feedback e con scarso dispendio di risorse attente.

SCHWINN.FITNESS

Schwinn hat das Windrad neu erfunden und setzt damit Massstäbe: Zum Beispiel im abgebillten Oberkörpertrainer, dem Windjammer. Aber auch im neuen Airdyne, im Backdraft, im Windrigger.



Sind Sie interessiert?
Bitte fordern Sie die Unterlagen an.

SYS-SPORT AG

Pfäffikerstrasse 78 | 8623 Wetzikon | Tel. 01 930 27 77 | Fax 01 930 25 53

Windjammer: Rollstuhlgängig,
Kurbeln voll verstellbar, genaue
Wattmessung, motivierender
Computer, preiswert.

LASER-THERAPIE

Der LASER für schwierige Fälle

Neu
Kurse für
Laser-Anwender.
Verlangen
Sie unseren
Kursprospekt.

Tel 041 768 00 33
Fax 041 768 00 30

LASOTRONIC-Laser
gibt es seit mehr
als 10 Jahren.
Profitieren Sie von
unserer Erfahrung.
Verlangen Sie Unterlagen
und eine unverbindliche
Vorführung

Weitere Modelle
von 10 - 50mW
rot und infrarot
Pocket-Therapy-
Laser
Akupunktur-Laser
Komplett-Systeme
mit Scanner
bis 400mW
Dental-Laser
60-300mW



MED-2000
120mW-830nm

**Analgesie
Regeneration
Immuno-Stimulation
Entzündungshemmung**

LASOTRONIC®
LASOTRONIC AG Biegistrasse 13 CH-6340 Baar-Zug

Schmerzen?

Die Schlafhaltung ist wichtiger als Sie glauben

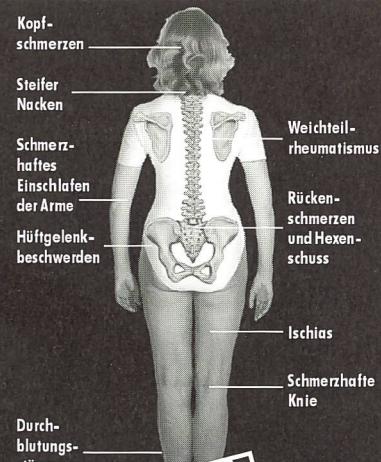


TEMPUR Matratzen-Auflagen,
TEMPUR Kombi-Matratzen und
TEMPUR Kissen bilden die
Körperform nach und bewirken
optimale Druckverteilung.

Die richtige Lagerung des Körpers
während der Nacht ist entscheidend
für Ihre Entspannung, Erholung und
Gesundheit.

TEMPUR, orthopädische MATRATZEN
und KISSEN gegen Rückenschmerzen,
Steifigkeit, Gelenkbeschwerden,
Schlafbeschwerden und Wundliegen,
geben Ihnen Ihren Schlaf zurück.

Ein guter Grund für Sie,
die TEMPUR-Matratze unver-
bindlich 30 Tage zu probieren!



INFO-BON für schmerzloses Schlafen
Die neuen Tempur-Produkte interessieren mich!

Schlafkissen

Matratzen

Bitte senden Sie mir näheres INFO-Material!

Telefon

pt

TEMPUR®
ORTHOPÄDISCHE
MATRATZEN UND KISSEN

TEMPUR-AIROFOM
Juraweg 30, 4852 Rothrist
Gratis INFO ☎ 0800 818 919
Fax 062 785 80 51

Fragen Sie uns,
Ihren Therapeuten oder
im Sanitäts-/Orthopädie-
Fachgeschäft.

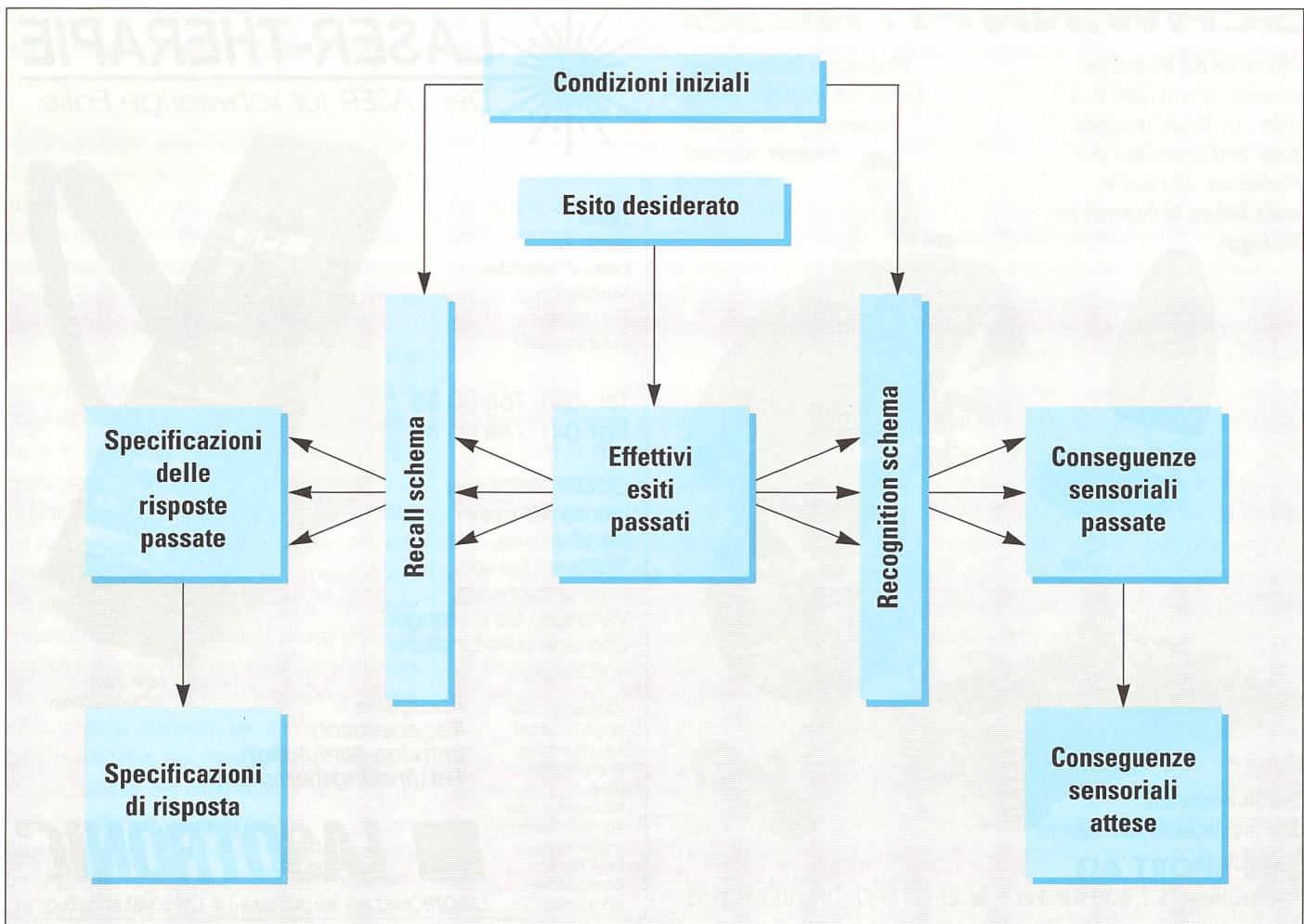


Fig. 1: La struttura dello «Schema» di Schmidt (parzialmente modificato).

Questo excursus storico, necessariamente mantenuto in forma estremamente ridotta, è utile per due motivi principali. Il primo, è che nella formulazione delle attuali teorie relative al controllo ed all'apprendimento dei movimenti, appare ormai fuori discussione la formazione di un apparato di previsione relativo ai risultati dell'azione, così come già a suo tempo ipotizzato da Anochin (2), Miller, Galanter e Pribram (20) ed anche di un apparato di previsione relativo alle *conseguenze sensoriali attese* dall'esecuzione di un determinato movimento, e questo si rivelerà un concetto di importanza capitale quando si parlerà in maniera più specifica dell'utilizzo della immagine motoria in un ambito più strettamente riabilitativo. Secondo, al lettore non sarà sfuggito che, prima dell'avvento delle più attuali tecnologie, il dibattito Neuroscientifico in atto (grazie anche all'avvento della cibernetica), era incentrato sui vari ed importanti meccanismi di controllo relativi all'*atto motorio*, senza tuttavia disporre dei mezzi necessari per impostare una ricerca indirizzata ad ipotizzare quali fossero i processi neurali responsabili della creazione e del mantenimento di quelle esplicite rappresentazioni che guidano il pensiero e l'azione.

Solo a titolo di esempio si noti come, a proposito di questi temi, anche un fisiologo di razza come Lashley (17), probabilmente con un certo imbarazzo, fu costretto a fare riferimento ad un concetto così nebuloso come quello del «will impulse»; oggi giorno le cose stanno cambiando e i recenti studi sulla immagine motoria suggeriscono che essa potrebbe rivelarsi un modo utile all'accertamento di quale sia il substrato fisiologico del processo di trasformazione tra intenzione ed azione (11), cioè il livello più alto nella pianificazione di un determinato comportamento motorio. Scopo del presente lavoro è quello di provare se, ed eventualmente in quale modo, questi nuovi concetti oggi così dibattuti nell'ambito della comunità scientifica internazionale possano trovare conferme ed applicazioni anche in campo riabilitativo.

Alcune evidenze sperimentali (recente apporto delle Neuroscienze ed enunciazione del problema)

Appare evidente che, come già precedentemente suggerito da Bernstein, uno studio concernente il comportamento motorio deve prendere in consi-

derazione il fatto che la componente visibile (che potremmo definire «*fenomenica*») del movimento è solo parte di un complesso fenomeno inteso come un *tutto unitario*; è necessario quindi impostare una ricerca che tenga in dovuta considerazione anche la componente nascosta (o «*rappresentazione*») di questa unità, perché entrambe sono ugualmente importanti (5).

Uno dei meccanismi già da tempo ipotizzati da Pribram per spiegare come il movimento si trasformi in azione, suggerisce che nella corteccia motoria avvenga una sorta di processo di formazione di immagini e che esse siano delle momentanee «*immagini-della-realizzazione*» che contengono tutte le informazioni sull'input e sul risultato; in questo modo l'immagine della realizzazione estrapolerebbe una proiezione dai cambiamenti immediatamente precedenti della forza esercitata sui recettori dei muscoli mediante un calcolo rapido. Questa immagine della realizzazione codifica quindi contingenze *ambientali* e non pattern di contrazione muscolare. Con un esempio, si potrebbe affermare che l'immagine della realizzazione *governa* il comportamento più o meno come avviene nel caso della regolazione di un termostato: non sarebbe cioè importante

solo il pattern di accensione e di spegnimento della caldaia, ma la codifica dei punti prestabiliti da raggiungere (25).

Alcuni anni fa Lassen, Ingvar e Skinhøj hanno potuto osservare quale fosse l'attività cerebrale nel corso della ipotetica formazione di questa immagine della realizzazione: attraverso l'impiego di un isotopo radioattivo, è stato infatti possibile studiare le variazioni del flusso ematico cerebrale, ed in particolare quello osservabile in seguito all'esecuzione di una sequenza semplice di movimenti delle dita e quello osservabile quando il soggetto pensava soltanto di eseguire tale sequenza. Nel corso di questi studi si evidenziò come, anche per un movimento sequenziale delle dita eseguito solo mentalmente mantenendo la mano ferma, si attivava la area motoria supplementare, mentre quando il movimento veniva realmente attuato si attivavano anche le aree corrispondenti della mano e delle dita della corteccia motoria primaria e quelle collegate della corteccia somatosensoria. Queste scoperte suggerirono agli Autori che l'area motoria supplementare ha la funzione di programmatore del movimento dinamico, mentre la corteccia sensoria primaria ne è l'unità di governo e la corteccia motoria primaria l'esecutore (18).

Recentemente Jeannerod e Decety hanno condotto studi pionieristici sul flusso di sangue cerebrale mediante la SPECT, per mettere in evidenza quale fosse l'attività delle differenti aree cerebrali nel corso della immaginazione motoria allo scopo di decifrare il contenuto e la struttura dei processi *non visibili* che precedono la esecuzione di una data azione; le zone risultate maggiormente attivate sono le aree prefrontali, l'area motoria supplementare, il cervelletto ed i gangli della base, ed altri studi eseguiti con la PET hanno rivelato inoltre che questa attività del cervello è influenzata dalla *natura* del compito immaginato. In sintesi questi lavori hanno rivelato che le aree cerebrali attivate nel corso del compito di *immaginazione* motoria sembrano essere le *stesse* coinvolte nella reale *esecuzione* del movimento immaginato. Gli Autori concludono che la rappresentazione consci di una azione produce una attivazione selettiva della attività neurale in quelle vie motorie concernenti la azione simulata, coinvolgendo un pattern di attivazione del cervello che ricalca quella di una azione intenzionalmente eseguita; come è facilmente intuibile, questi meccanismi, hanno importanti implicazioni per l'apprendimento motorio (15).

In un altro lavoro recente, Yue e Cole hanno studiato i meccanismi neurali di quell'aumento della forza che si verifica *prima* della comparsa della ipertrofia del muscolo; esistono infatti numerose evidenze sperimentali che indicano come già nelle prime fasi di un allenamento si veri-

fichino alcuni cambiamenti neurali e come, in questo periodo, la forza muscolare aumenti rapidamente prima che il muscolo sviluppi una ipertrofia. Scopo di questo lavoro è stato quello di confrontare la produzione della forza massima dopo un allenamento tramite contrazioni isometriche dei muscoli con un programma di allenamento che viceversa non coinvolgeva affatto la attivazione ripetitiva del muscolo utilizzando un allenamento mentale. A tale scopo, un gruppo di soggetti allenò i propri muscoli ipotenari per 4 settimane producendo contrazioni isometriche massimali ripetute dei muscoli abduttori del quinto dito dell'articolazione metacarpofalangea, mentre un secondo gruppo immaginò solamente di produrre queste stesse contrazioni. Le stimolazioni elettriche sopramassimali del nervo ulnare successive all'allenamento, non registrarono cambiamenti nella forza in abduzione per entrambi i gruppi, dato che può essere considerato come indicativo della assenza di *ipertrofia muscolare*: tuttavia, la forza media di abduzione del quinto dito, misurata con elettromiogrammi massimali integrati, aumentò del 22% per il gruppo che *immaginò* il movimento e del 30% per il gruppo che si *allenò* realmente con contrazioni effettive, quindi con una minima differenza tra i due gruppi! Gli Autori concludono che i risultati di questi esperimenti depongono a favore della ipotesi della *origine neurale* degli aumenti di forza che si possono osservare prima della comparsa della ipertrofia muscolare, affermando che questi aumenti della forza ottenuti senza attivazione ripetuta del muscolo sembrano avere origine dagli effetti della pratica e della ottimizzazione nella pianificazione/programmazione centrale motoria (28).

Passiamo adesso a considerare un altro aspetto particolarmente interessante legato alla immagine motoria. Appare sempre più evidente che le azioni sono neuralmente rappresentate e codificate, ed i mezzi tecnologici messi a disposizione dal progresso scientifico permettono lo studio della pianificazione dell'azione e della preparazione motoria utilizzando quello specifico tipo di attività rappresentazionale che è la immagine motoria. La stretta equivalenza funzionale tra immagine motoria e preparazione motoria viene inoltre suggerita sia dagli effetti positivi nell'apprendimento motorio dei movimenti immaginati che dalla similarità tra le strutture neurali coinvolte; sempre più numerose sono le evidenze che la sola differenza esistente a livello corticale tra un movimento reale ed un movimento immaginato è che in quest'ultimo non viene espressa la sua *finale uscita motoria* (10).

Una così stretta relazione tra la simulazione mentale del movimento e la sua esecuzione motoria lascia quindi presagire che la immagine

motoria dovrebbe essere intaccata nelle malattie motorie; la verifica di questa predizione è rappresentata dalla scoperta che, nei soggetti normali, i tempi *mentali* di movimento ed i tempi *reali* dei movimenti sono quasi simili, mentre una condizione patologica che rallenta i movimenti, incrementa anche il tempo mentale di movimento nella simulazione dei movimenti stessi. Per mettere alla prova questa teoria, Decety ha messo a punto il seguente elegante esperimento.

Preliminarmente, è stato stabilito che nei soggetti sani il tempo necessario per eseguire un movimento si avvicina di molto alla durata dello stesso movimento mentalmente rappresentato: quando infatti si richiede a soggetti destrimani di eseguire realmente un compito grafico o di simulare mentalmente questo compito, il tempo del movimento è lo stesso per la mano realmente impegnata che per la mano mentalmente impegnata, con la medesima differenza tra la destra e la sinistra. L'Autore ha quindi sottoposto alla medesima esperienza un gruppo di tre pazienti con emiplegia destra e tre con emiplegia sinistra, più due pazienti con paraplegia e due con tetraplegia in qualità di gruppo di controllo. Nei soli pazienti emiplegici fu riscontrata una significativa differenza nella durata del tempo mentale tra l'arto rappresentato paralizzato e quello sano, essendo l'arto paralizzato mentalmente molto più lento di quello normale; al contrario, i tempi dei movimenti mentali nei pazienti tetraplegici e paraplegici non differivano da quelli dei volontari normali. I risultati di questo esperimento sembrano ulteriormente indicare che i processi motori di alto livello, presumibilmente localizzati corticalmente, interagiscono con le unità di processamento dell'informazione che sottostanno alla rappresentazione mentale del comportamento motorio (10).

In un altro recente lavoro di Dominey effettuato su pazienti parkinsoniani sono stati ottenuti risultati simili. Furono selezionati pazienti affetti da emi-Parkinson iniziale o di grado medio idiopatico e levodopa-responsivo nei quali fosse possibile paragonare la prestazione nella immagine motoria tra i lati affetto e quello non affetto. Anche in questo gruppo di pazienti fu possibile evidenziare una significativa asimmetria tra lato malato e lato sano sia nella esecuzione motoria che nell'immagine motoria essendo la durata di entrambi molto più lenta per il lato malato. Questo indica che questi due processi (sia il movimento reale che quello immaginato) sono similmente compromessi nella malattia di Parkinson, e ciò confermerebbe quindi l'ipotesi che sia l'esecuzione che l'immagine condividono un numero di strutture e *meccanismi cerebrali comuni* (13).

Ma allora, da riabilitatori sorge spontanea una serie di domande relative a questi studi innovativi: «Abbiamo mai messo alla prova il nostro agire quotidiano alla luce di queste nuove rivelazioni?»; «Potrebbero i nostri pazienti trarre vantaggio dall'applicazione di questi concetti che la moderna tecnologia ci mette a disposizione?»; «Il Signor XY, mio paziente, potrebbe incrementare la propria forza muscolare utilizzando quegli stessi meccanismi descritti negli studi di Yue e Cole?»; «Il Signor YZ, potrebbe avere problemi di immagine motoria?»; ed ancora: «Potrebbe migliorare la modalità di esecuzione del proprio movimento attraverso specifici esercizi di immagine motoria?».

L'applicazione pratica in riabilitazione di questi esperimenti richiede però una ulteriore specificazione tecnica in quanto la immagine motoria può essere sperimentata in due differenti modi. La generica richiesta di immaginare un movimento si rifletterebbe istintivamente in una probabile prospettiva in terza persona, maggiormente correlata al processamento visuospaziale, con il soggetto che in pratica immagina di vedere sé stesso in movimento ed utilizza quindi altri circuiti neurali; viceversa, gli esercizi per mezzo dell'immagine motoria dovrebbero poggiare, così come tutti gli esperimenti citati, sul processamento delle informazioni *motorio-cinestesiche*, cioè su di un fenomeno definito in prima persona, con il soggetto che immagina le conseguenze sensoriali prodotte dal movimento immaginato (12). Il paziente deve quindi essere opportunamente e precisamente istruito ad eseguire gli esercizi di immagine motoria secondo i criteri definiti in prima persona: spesso, al paziente che presenta un qualche deficit di movimento, non è così facile insegnare tale corretta modalità.

Proposte di applicazione pratica (sperimentazione clinica)

Vediamo ora di concretizzare quanto esposto finora tentando di effettuare il passaggio dalla teoria alla pratica e scendiamo nel «campo» riabilitativo al fine di mettere alla prova, per quanto ci è possibile allo stato attuale, queste nuove conoscenze acquisite. I casi, qui di seguito citati, riguardano due ictus di cui uno dx e l'altro sx e che definiremo esclusivamente con le iniziali dei loro nomi.

Il Sig. P. L. di anni 56, emiplegico dx, in cui era stata esclusa la presenza di componenti aprassiche, con afasia motoria parzialmente regredita, con una compromissione grave, dal punto di vista dell'esecuzione del movimento dell'arto superiore (in altri termini nessun movimento spontaneo). Per capire l'importanza del linguaggio del terapista della Riabilitazione, che è fondamentale

nella consegna del compito al paziente, citiamo il modello mentale di Johnson-Laird (16), il quale afferma che quando noi discutiamo, la nostra mente attiva diverse forme di rappresentazione per le parole: la rappresentazione proposizionale, il modello mentale e l'immagine cioè il correlato percettivo del modello mentale. Questo significa che quando interagiamo con il soggetto sottoposto a trattamento riabilitativo non dobbiamo utilizzare una parola astratta dal contesto ma sempre e soltanto parole contestualizzate.

Detto ciò, per esempio, è ben diverso nell'evocazione dell'immagine dire al paziente «*Vede* come si alza o come si estende il suo braccio?» dal «*Sente* che cosa accade in questo movimento?» nel corso di una attività esplorativa effettuata con l'arto superiore in uno spazio frontale. Con il sig. P. L. abbiamo utilizzato, inizialmente, una strategia facilitante da trasferire successivamente al lato plegico; abbiamo innanzitutto rievocato la sensazione del movimento dalla parte sana dicendogli: «Prova a sentire, pensa ad occhi chiusi a che cosa accade a livello della spalla, del gomito, nonché del tronco durante il raggiungimento del punto prestabilito; concentrati!».

La consegna data al soggetto era chiara e codificata dallo stesso anche se, nelle prime prove, si notava eccessiva impulsività nell'esecuzione del movimento o, in esercitazioni che prevedevano l'interazione con altri sussidi una marcata «disarmonia» (stiamo parlando sempre dell'arto sano). Nasce spontanea la domanda che ci siamo posti: «A questo modo di muoversi così «scomposto» può corrispondere una immagine motoria corretta? E se non è così come possiamo pretendere che la rievochi nella esecuzione del movimento dalla parte plegica?»

Una volta riscontrata una corretta modalità di esecuzione e di immaginazione motoria abbiamo cercato di trasferire l'immagine dello stesso movimento eseguito dalla parte plegica cercando di evidenziare se le sensazioni percepite antecedentemente erano uguali. Il soggetto ha riferito che la sensazione poteva essere equiparabile ma che però l'arto era rigido nel movimento, con senso di «pesantezza» e accompagnato da dolore. Tutto sommato questa comparazione è da ritenersi, in un certo senso, positiva poiché suscita un parametro di confronto tra le due immagini.

Di seguito abbiamo proposto al sig. P. L. diverse posizioni (sempre calibrate) dalla parte sana cercando di fargli evidenziare che quanto eseguito non richiedesse un notevole reclutamento di unità motorie partendo dall'ipotesi che nel trasferimento del movimento alla parte lesa e con il braccio sostenuto e guidato dal terapista diminuisse il senso di pesantezza e di dolore riscontrati nella prima modalità. Siamo infatti tutti

consapevoli dello «*sforzo*» esagerato, con relativi compensi, effettuato dall'emiplegico nella esecuzione di un atto motorio e della banalità nel dirgli: «*Rilassi il braccio*». Gli abbiamo suggerito di prestare Attenzione alle sensazioni che provava ad occhi chiusi e di ricordarle; successivamente gli abbiamo chiesto di percepire di essere lui che portava il suo braccio verso uno dei punti stabiliti, quindi di rievocare quanto sentito precedentemente con l'aiuto del terapista.

Procediamo: «Prova ad immaginare di portare il braccio verso il punto X». Il paziente prova a crearsi l'immagine ed il terapista può o non portare l'arto verso il punto stabilito e quindi verificare se ciò che il soggetto ha immaginato è conforme o meno al movimento effettuato: siamo nella *realità* di quanto eseguito. Quanto esposto è da ritenersi una delle molteplici modalità di proposta nel procedere riabilitativo tant'è vero che nel secondo caso in citazione, partendo dagli stessi presupposti attuiamo un diverso procedimento.

Questo secondo esempio riguarda il Sig. C. G., di anni 60, emiplegico Sx (ben orientato): in questo paziente evidenziammo inizialmente dei gravi disturbi della sensibilità sup./prof./cinestesica a carico dell'intero arto inferiore, con difficoltà nella spazialità del movimento a livello della caviglia, del ginocchio e in particolar modo dell'anca. Anche in questo caso l'*ipotesi percettiva* è stata al centro dell'agire riabilitativo: posto al paziente un problema conoscitivo, abbiamo avanzato delle richieste che lo conducessero ad ipotizzare delle sensazioni e delle percezioni da verificare successivamente per mezzo dell'esecuzione del movimento stesso. Secondo quanto esposto nelle sezioni precedenti infatti, l'*ipotesi percettiva* sarebbe una sorta di *anticipazione* o di *immagine* che naturalmente evolverebbe in un piano d'azione ben definito, utilizzando gli stessi correlati neurali per giungere alla esecuzione dell'atto motorio vero e proprio. Come si vedrà più avanti, uno dei primi problemi affrontati è stato quello di riuscire a fare evocare una immagine corretta del movimento che veniva richiesto. Il paziente, che aveva comunque ottenuto un recupero pressoché completo della moticità, lamentava il fatto di non essere in grado di percepire, e quindi di correggere, la naturale tendenza ad orientare la punta del proprio piede verso l'esterno, effetto della rotazione esterna dell'anca.

Utilizzando un «archetto» graduato, abbiamo fatto percepire al paziente cosa vuol dire ruotare l'arto inferiore per raggiungere con il piede una determinata posizione contrassegnata su tale archetto, effettuando di volta in volta una extrarotazione o una intrarotazione dell'anca; il paziente fu sorpreso del fatto che talvolta, per-

cepiva di avere compiuto una rotazione esterna dell'anca quando invece il terapista aveva effettivamente posizionato la punta del piede all'interno, facendo quindi compiere una rotazione contraria o viceversa. Tali riscontri ben si accordano con la scoperta di Warren, Hamalainen e Gardner (27) della esistenza di neuroni specificamente sensibili alla *direzione* del movimento nell'area somatosensoria.

Nella evocazione dell'immagine, come suggerito da Farah (14), il paziente deve trasportare un certo tipo di sensazione dalla memoria a lungo termine nella memoria a breve termine: a questo punto dovrà quindi operare sull'evocazione richiamata sollecitato anche dal nostro intervento: «Attento, immagina di *sentire* la gamba che si muove in una certa direzione (per esempio in intrarotazione dell'anca) ed il piede che finisce in un punto Y prestabilito». Successivamente, il terapista fa eseguire all'anca un movimento in rotazione esterna od interna e chiede al paziente di eseguire un confronto tra quanto immaginato (in questo esempio una rotazione interna) e quanto realmente eseguito.

Anche in questo caso il linguaggio utilizzato dal terapista, come pure quello del paziente, è di peculiare rilevanza: «Pensa a cosa dovrebbe fare la tua gamba per spostarsi in quella direzione: immagina quali sono le conseguenze sensoriali attese di una rotazione interna. Coincidono con quanto fatto eseguire dal terapista, oppure hai sentito qualcosa di differente?» Il soggetto deve quindi *programmare* sia cosa fare da quando parte la gamba a quando arriva ad un determinato punto verso una certa direzione, sia formare un apparato di previsione relativo alle sensazioni prodotte da questo tipo di movimento.

A dispetto delle apparenze (provare per credere!) non è facile eseguire questo esercizio secondo la corretta modalità di esecuzione, perché prevede che il paziente evochi una sensazione prodotta dal movimento immaginato *in prima persona* e quindi, nel caso qui considerato, era necessario che facesse riferimento a sensazioni provenienti dall'articolazione dell'anca, mentre il paziente era invece incline ad utilizzare una modalità *in terza persona*. Inizialmente infatti egli immaginava sé stesso nel corso della esecuzione del movimento facendo riferimento agli spostamenti *visibili* del piede che sono prodotti dalle rotazioni dell'anca piuttosto che dalla informatività proveniente da quest'ultima. Una volta compresa la corretta modalità di esecuzione, specie nelle fasi iniziali, il paziente ha riferito di essere in grande difficoltà nel riuscire ad effettuare tali esercitazioni per un tempo superiore a pochi minuti!

La strategia facilitante nei confronti del sig. C.G., all'inizio, è stata quella di porre Attenzione su di un singolo distretto; successivamente l'im-

agine è stata rivolta all'arto in toto quando cioè taluni miglioramenti hanno permesso la corretta integrazione delle componenti rotatorie dell'anca in quello schema altamente complesso quale è quello della deambulazione.

Conclusioni (... o quasi)

Appare evidente che questi sono solo alcuni esempi (ci rendiamo conto limitativi) delle proposte effettuate in entrambi i casi descritti ma d'altronde l'argomento non solo risulta di estrema complessità ma è ricco di notevoli sfumature, suscettibili di ampliamento, per cui preferiamo fermarci a questo punto. A conclusione di quanto esposto crediamo che a questo punto tocca a noi riabilitatori mettere alla prova la opportunità dell'utilizzo della rappresentazione dell'immagi-

ne che ci viene offerta dalla Neurofisiologia con i vari esperimenti e studi e tocca a noi prendere in considerazione le alterazioni nella capacità di dirigere l'Attenzione nei confronti della immagine pur restando consapevoli che l'argomento trattato in questo articolo è da integrare con gli altri aspetti dell'agire riabilitativo.

La possibile lettura di questi dati in chiave riabilitativa e la conseguente sperimentazione «sul campo» viene suggerita dalle seguenti considerazioni: 1) la immagine motoria è uno stato cognitivo che può essere insegnato virtualmente ad ognuno con un minimo allenamento; 2) l'immagine motoria possiede la stessa relazione funzionale della azione rappresentata, lo stesso ruolo causale nella generazione di quella azione, e condivide i comuni meccanismi della esecuzione motoria.

BIBLIOGRAFIA

- 1) ADAMS J.A.: «A Closed-Loop Theory of Motor Learning» Journal of Motor Behavior 1971, Vol. 3, n° 2, 111-149.
- 2) ANOCHIN P.K.: «Biologia e neurofisiologia del riflesso condizionato» 1975, Bulzoni Editore.
- 3) BERNSTEIN N.A.: «Alcuni problemi attuali nello studio della fisiologia dell'attività» in Fisiologia del movimento 1989, Società Stampa Sportiva.
- 4) BERNSTEIN N.A.: «Il problema dell'interrelazione tra coordinazione e localizzazione» in Fisiologia del movimento 1989, Società Stampa Sportiva.
- 5) BERNSTEIN N.A.: «Indirizzi e problemi nello studio della fisiologia dell'attività» in Fisiologia del movimento 1989, Società Stampa Sportiva.
- 6) BOCCARDI S.: «Problemi ed esigenze per la riabilitazione» in Bioingegneria della riabilitazione, a cura di T. Leo e G. Rizzolatti 1987, Patron Editore.
- 7) BRIGANTI S.: «L'ipotesi operettiva e l'organizzazione motoria» relazione tenuta a Grosseto il 13 Dicembre 1996.
- 8) CHURCHLAND P., SEJNOWSKI T.: «Il cervello computazionale» 1995, Il Mulino Ed.
- 9) CONVEGNO: «Immagine motoria ed esercizio terapeutico: neurofisiologia e neuropsicologia dell'immagine motoria. Immagini ed esercizi nelle diverse patologie» Casciana Terme (Pisa) 17 Maggio 1997.
- 10) CRAMMOND D.J.: «Motor imagery: never in your wildest dream» Trends in Neurosciences 1997, Vol. 20, n° 2.
- 11) DECETY J.: «The neurophysiological basis of motor imagery» Behavioral Brain Research 1996, 77: 45-52.
- 12) DENIS M.: «Visual imagery and the use of mental practice in the development of motor skills» Canad. J. Applied Sport Sci. 10 (1985) 4-16.
- 13) DOMINEY P., DECETY J., BROUSSOLLE E., CHAZOT G., JEANNEROD M.: «Motor imagery of a lateralized sequential task is asymmetrically slowed in hemi-Parkinson patients» Neuropsychologia 1995, 33: 727-741.
- 14) FARAH M.J.: «The neural basis of mental imagery» 1989 Trends in Neuroscience 12: 395-99.
- 15) JEANNEROD M., DECETY J.: «Mental motor imagery: a window into the representational stages of action» Current Opinion in Neurobiology 1995, 5: 727-732.
- 16) JOHNSON-LAIRD J.: «Modelli mentali» 1988, il Mulino Ed.
- 17) LASHLEY K.S.: «The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ» American Journal of Physiology 1917, 43: 169-194.
- 18) LASSEN N.A., INGVAR D.H., SKINHOJ E.: «Flusso ematico e attività cerebrale» Le Scienze, Dicembre 1978, n° 124, 32-41.
- 19) MERTON P.A.: «Il controllo della contrazione muscolare» Le Scienze, Ago. 1972, N° 48.
- 20) MILLER G.A., GALANTER E., PRIBRAM K.H.: «Piani e struttura del comportamento» 1992, sesta edizione, Franco Angeli Editore.
- 21) NICOLETTI R.: «Il controllo motorio: processi cognitivi nell'organizzazione del movimento. Teoria e applicazioni» 1992, Il Mulino Editore.
- 22) PEDOTTI A., FRIGO C., SANTAMBROGIO G.C.: «Sistemi di acquisizione di grandezze cinematiche e dinamiche» in Bioingegneria della riabilitazione, a cura di T. Leo e G. Rizzolatti 1987, Patron Editore.
- 23) PERFETTI C.: «Condotte terapeutiche per la rieducazione motoria dell'emiplegico» 1986, seconda edizione, Ghedini Editore.
- 24) POSNER I.M., RAICHLE M.E.: «Précis of Images of Mind», Behavioral and Brain Sciences 1995, 18: 327-383.
- 25) PRIBRAM K.H.: «I linguaggi del cervello: introduzione alla neuropsicologia» seconda edizione, 1980, Franco Angeli Editore.
- 26) SCHMIDT R.A.: «A schema theory of discrete motor skill learning» Psychological Review, vol. 82, n° 4, July 1975.
- 27) WARREN S., HAMALAINEN H.A., GARDNER E.P.: «Objective classification of motion- and direction-sensitive neurons in primary somatosensory cortex of awake monkeys» J. Neurophysiol. 1986, 56: 598-622.
- 28) YUE G., COLE J.K.: «Strength Increases from the Motor Program: Comparison of Training with Maximal Voluntary and Imagined Muscle Contractions» Journal of Neurophysiology Vol. 67, n° 5, May 1992.