

Quali sono le responsabilità della fisioterapia. Come il background scientifico può orientare questa definizione

Maurizio Petrarca

Un discorso per iniziare

La materia in sé non consente di giungere ad una definizione universalmente accettata e le possibili risposte dipendono dal background di professionisti e ricercatori, dalla distribuzione geografica e quindi culturale, dalla legislazione locale e dall'organizzazione dei percorsi formativi. Premesso questo, il testo che segue rappresenta un tentativo di aprire un dibattito che dovrebbe essere ampio, partecipato e coniugato a vari livelli all'interno di una società così ambiziosa e fortemente stratificata come quella della Fisioterapia. L'intento dovrebbe essere quello di rivendicare una paternità scientifico-culturale che si raccordi con la proposta terapeutica.



Non è la specie più forte né la specie più intelligente o la più prolifica a sopravvivere, ma quella più predisposta ad adattarsi al cambiamento.

Charles Darwin sostenne anche l'inferiorità del genere femminile, sfortunatamente non ha mai pubblicato un volume con le evidenze di tale affermazione e non possiamo pertanto tenere tale affermazione in considerazione (nota ironica sulla differenza tra evidenza scientifica e autorevole infondata opinione n.d.r.)

La linea politica della World Physiotherapy, che si ispira alle dichiarazioni dell'OMS sulla riabilitazione, dichiara, tra l'altro, quanto segue in relazione alle componenti centrali oggetto della terapia fisica:

“...Individuals have the capacity to change as a result of their responses to physical, psychological, social and environmental factors. Body, mind and spirit contribute to individuals' views of themselves and enable them to develop an awareness of their own movement needs and goals. Ethical principles require the physical therapist to recognise the autonomy of the patient/client or legal guardian in seeking his or her services. Movement is an essential element of health and wellbeing and is dependent upon the integrated, coordinated function of the human body at a number of levels. Movement is purposeful and is affected by internal and external factors. Physical therapy is directed towards the movement needs and potential of individuals and populations... An integral part of physical therapy is interaction between the physical therapist and the patient/client/family or caregiver to develop a mutual understanding of their needs. This kind of interaction is necessary to change positively the body awareness and movement behaviours that may promote health and wellbeing...”

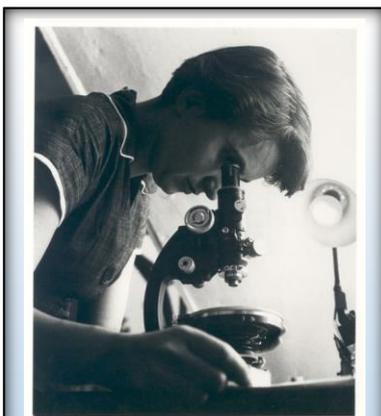
Da questa lettura emerge che gli individui, e la loro capacità di cambiamento, rappresentano la materia principale di cui è responsabile un fisioterapista. Questi due concetti non possono essere separati e conducono al presupposto che la

terapia fisica sia un processo personalizzato volto a indurre cambiamenti. In altri termini, possiamo affermare che la terapia fisica è volta a riaprire il processo di ricerca di soluzioni adattative, dove le condizioni personali o patologie specifiche lo hanno chiuso. Quando e dove è possibile. Questi concetti realizzano altri presupposti, cioè stiamo considerando l'organismo nel suo insieme e come una realtà in continua evoluzione. Per definire meglio i confini di questi pensieri è necessario fare riferimento almeno a cinque principali correnti scientifiche che hanno origine in presupposti radicati nella cultura moderna occidentale. La prima riguarda le teorie sull'evoluzione [1], la seconda il concetto di genetica [2], la terza l'introduzione della dottrina dei neuroni [3], la quarta la descrizione delle basi chimiche della morfogenesi [4] e il quinto elemento è relativo all'introduzione in psicologia del comportamentismo, e degli approcci cognitivi ed ecologici. Questi concetti hanno influenzato da sempre ogni campo della terapia fisica. Di seguito alcuni esempi ma non esaustivi. La nascita delle teorie darwiniane è imbricata con la nascita delle teorie sulla genetica, entrambe hanno favorito un concetto divenuto di moda nel passato per il quale l'evoluzione ontogenetica del singolo organismo replica quella filogenetica. Legate a questo concetto sono emerse le manovre



Il fatto che il bambino non abbia necessità di strisciare è esempio dell'erronea traslazione del concetto di evoluzione in fisioterapia, in quanto nasciamo come sintesi dell'evoluzione e di conseguenza l'individuo non ha necessità di ripercorrere le tappe dello sviluppo filogenetico per maturare.

riabilitative atte ad indurre passivamente il movimento di strisciamento e gattonamento. Attualmente sappiamo che questa affascinante interpretazione è imprecisa perché siamo il frutto di questo processo evolutivo e nessun organismo ha bisogno di ricostruire e/o replicare il processo che ha condotto all'attuale espressione evolutiva. Successivamente, il comportamentismo ha modificato il concetto di soluzioni passive proponendo l'introduzione di stimoli in grado di indurre risposte riflesse attive. Attualmente, in aggiunta all'incomprensione della teoria sull'evoluzione delle specie, sappiamo che la dicotomia tra interazione terapeutica passiva o attiva è un concetto falso. Sappiamo inoltre che qualsiasi stimolo produciamo sull'organismo, quando non è correlato con gli scopi dell'organismo stesso, ovvero quando non è correlato con la conseguenza dell'azione sul mondo esterno e sull'organismo stesso, conduce sempre ad una errata



Rosalind Franklin descrisse la doppia elica del DNA. James Watson che ne sviluppò la teoria dopo la morte prematura della Rosalind sostenne che tra neri e bianchi vi è una differenza intellettuale su base genetica. Un ulteriore esempio di un autorevole opinione non supportata dalla scienza.

interpretazione del significato dello stimolo e del suo ruolo nella generazione dell'azione.

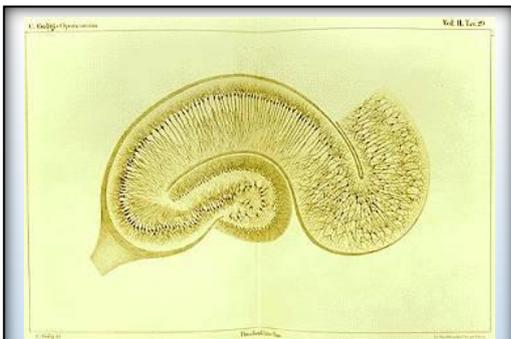
Innato e Appreso

La dicotomia tra ciò che è geneticamente determinato e ciò che è dovuto al processo di apprendimento durante la vita va di pari passo con il procedere della conoscenza dall'inizio della definizione del concetto di innatismo nella filosofia occidentale. Platone e Cartesio hanno influenzato tutta la cultura occidentale introducendo il concetto di



Pattern di colore sulla pelle. Simulazione ottenuta dalle equazioni di Turing. La teoria sulla morfogenesi è stata applicata in molti campi della scienza ed è attualmente universalmente accettata nella formazione delle strutture bidimensionali, mentre è in corso la ricerca sulle strutture tridimensionali come quelle lamellari dell'osso e quindi sulla morfogenesi degli arti.

innatismo. Questo concetto si è evoluto con l'origine della genetica moderna grazie al lavoro di Mendel e alla definizione delle leggi dell'eredità. Nel 1962, dopo la morte di Franklin, Watson, Crick e Wilkins ricevettero congiuntamente il Premio Nobel per la Fisiologia e la Medicina. I premi Nobel vengono assegnati solo a destinatari viventi. Pertanto è ancora aperto il dibattito su chi avrebbe dovuto ricevere il merito per la scoperta perché le strutture del DNA sono state originariamente descritte dalla Franklin con i dati ottenuti con la tecnica dei raggi X. Una tecnica alla quale è legata la morte prematura della Franklin a causa proprio dell'esposizione ai raggi X [2]. Nel frattempo, la descrizione dell'RNA avviene nel 1957, solo 63 anni fa. Solo di recente, la descrizione del ruolo della metilazione e la sua influenza sull'espressione genica aprono le porte all'epigenetica, cioè il ruolo dell'esperienza sull'espressione genica e sulla sua trasmissione alla generazione successiva. Questa conoscenza fornisce un supporto scientifico alla teoria sull'origine delle specie in particolare al ruolo della selezione naturale formulata e pubblicata da Darwin nel 1859 sulla base di osservazioni etologiche. La teoria genetica ed epigenetica ha arricchito il dibattito sulla relazione tra ciò che è innato e ciò che è appreso durante lo sviluppo dell'organismo e questo dibattito è stato ulteriormente arricchito dalla descrizione delle leggi biochimiche inerenti l'evoluzione della morfologia degli organismi viventi (Turing, 1951) [4]. Turing è lo stesso matematico che hanno gettato le basi dell'informatica (macchina di Turing) e dell'intelligenza artificiale (test di Turing) [5]. Alan Turing è morto prematuramente. È stato trovato sul suo letto con una mela parzialmente mangiata accanto. Una mela con tracce di cianuro. È noto che la storia di Biancaneve e della mela avvelenata lo affascinava. È anche noto che è stato condannato alla castrazione chimica dopo aver ammesso di aver avuto una relazione sessuale con un uomo negli anni '50 nel Regno Unito. La mela morsa è un marchio di computer. È nato da un gioco di parole tra il significato di BIT e la mela di Newton (informatica e scienza) o un elogio esplicito al padre dell'informatica? La risposta è a carico del lettore. È una storia del passato? Le scienze potrebbero essere influenzate da simili processi di regressione culturale?



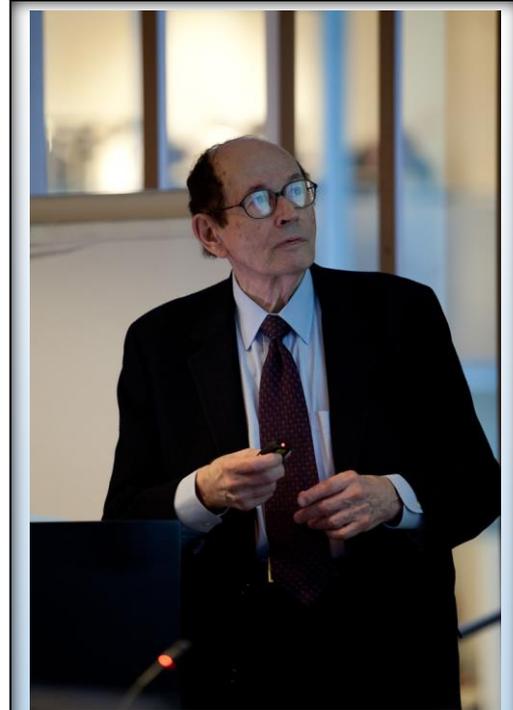
Disegno dell'Ippocampo ottenuto con la tecnica Golgi. Dall'osservazione di simili disegni Hebb concepì i concetti di Circuito Riverberante e di Assemblee Cellulari con i quali descrisse la mutua maturazione strutturale e funzionale del SNC.

Nei fatti, la definizione delle basi chimiche della morfogenesi conduce alla concezione che molti degli eventi implicati nella crescita dell'organismo sono conseguenza di coincidenze determinate da leggi fisiche (interazioni) e non dovute a un programma genico. Questo concetto ha influenzato il lavoro di Jacob e Monod i quali hanno fornito una nuova visione della stessa regolazione genica definendo l'Operone, cioè i cluster di geni governati da meccanismi di autoregolazione [6]. Changeaux ne ha dedotto la descrizione del ruolo delle proteine nello sviluppo del sistema nervoso fino alla determinazione delle funzioni cognitive, "L'homme neuronal" [7].

A questo punto possiamo immaginare il progresso scientifico come un processo che coinvolge numerosi ricercatori, lungo percorsi anche paralleli ma che finiscono sempre per incrociarsi. Procedendo ora lungo un percorso parallelo,

possiamo considerare la dottrina dei neuroni che parte nell'età moderna dall'introduzione da parte di Golgi dei metodi di colorazione delle cellule nervose. Basandosi su questa tecnica, Cajal [3] e Lorente de Nò hanno colorato e descritto molti circuiti neurali che hanno condotto Hebb alla formulazione delle leggi che portano il suo nome: "I neuroni che sparano insieme finiscono per connettersi" fino al concetto delle "assemblee cellulari", circuiti nei quali l'informazione riverbera attraverso meccanismi di retroazione. Hebb ha definito una teoria dell'apprendimento che implica una stretta relazione tra l'esperienza e la struttura fisica della rete cellulare cerebrale [8].

Questi due percorsi si sono fusi nel lavoro di Edelman. Edward Jenner nel 1776 introdusse il vaccino per la cura del Vaiolo. L'ha scoperto casualmente osservando le abitudini della popolazione rurale naturalmente immune. Pasteur ha esteso le tecniche per altre malattie come la rabbia. Il vaccino ha consentito di debellare alcune epidemie endemiche anche se non si sapeva come funzionava. Infatti, la scoperta del sistema immunitario è da ascrivere al lavoro di Ilva Mechnikov un biologo russo scappato da Odessa nel 1882 e rifugiatisi a Messina dove studiò gli embrioni delle stelle marine [9]. Altresì, la comprensione di come funziona il sistema immunitario ha recentemente aperto la strada a tutte le moderne terapie immunitarie. Edelman è stato uno dei ricercatori che ha compreso che accanto al sistema immunitario genetico, di prima difesa, esiste un sistema immunitario, nuovamente, governato da regole di auto-organizzazione. Tale sistema immunitario seleziona la risposta ad agenti potenzialmente pericolosi producendo anticorpi specifici quando li incontra. Successivamente, Edelman ha sviluppato una teoria della coscienza passando attraverso il concetto di darwinismo neurale dove ha coniugato i concetti di selezione somatica, di selezione esperienziale durante la maturazione del sistema nervoso, e di rientro, i segnali rientranti o riverberanti tra gruppi neurali (un'evoluzione delle leggi di Hebb e delle teorie darwiniane) [10].



Gerald Edelman spiegò la formazione della Coscienza primaria come proprietà emergente legata ai circuiti di rientro corticali.

“The Brain—is wider than the Sky— For—put them side by side— The one the other will contain With ease—and you—beside—” Emily Dickinson, c. 1862.

In effetti, la coscienza è un mistero, la sua natura non è nota, si perde durante l'anestesia generale. Mentre l'anestesia locale agisce inducendo un'influenza biochimica sulla funzionalità nervosa, l'azione dell'anestesia generale non è nota. La fisica sta aprendo nuove interpretazioni, oltre a quella biologica, ipotizzando l'influenza di un gradiente termico accanto alla biochimica sulla conduzione dei segnali [11] e ipotizzando l'influenza dei microtubuli assionali quali mediatori di informazione quantica ad alta frequenza [12].

Influenza della ricerca sulla riabilitazione italiana

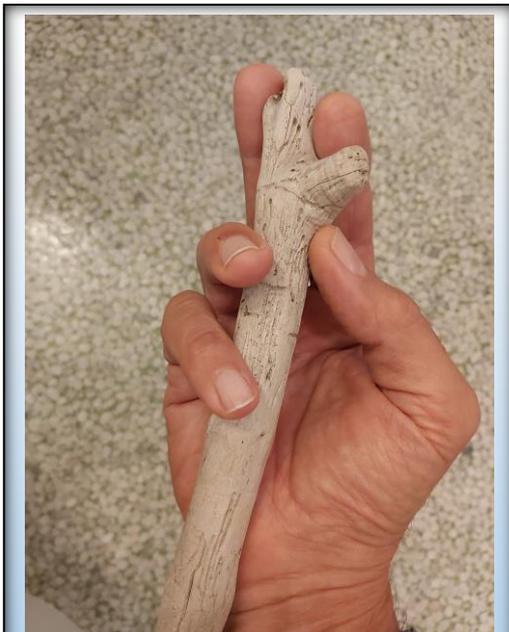
Per cercare di capire cosa è accaduto nei primi anni '70 nel mondo riabilitativo italiano, è necessario considerare l'incrocio di altri percorsi storico-culturali. Il vaccino antipolio è stato introdotto a metà degli anni '50 e in seguito al programma di vaccinazione globale, i casi di poliomielite si sono drasticamente ridotti fino alla fine degli anni '70. La vaccinazione spopolò i centri costruiti per la cura dei soggetti con la poliomielite e l'esperienza degli operatori coinvolti nella cura dei pazienti con poliomielite rischiava di scomparire. La soluzione è arrivata con la trasformazione di questi centri in luoghi in cui ci si prendeva cura della disabilità. È quindi nata una nuova generazione di professionisti e scuole specifiche per la loro preparazione. Parallelamente, in particolare all'inizio degli anni '70, questo processo è stato fortemente influenzato dalla scuola storico/culturale sovietica che ha fornito l'*humus*



Il nastro di Möbius può essere usato come emblematica rappresentazione del concetto di azione e percezione interagenti su un'unica superficie.

culturale a questa trasformazione determinando tra l'altro la nascita della Neuropsicologia. Ogni individuo si evolve in conseguenza della sua peculiare evoluzione storica ed esperienziale. Il lavoro di Wygotsky ha cancellato qualsiasi concetto inerente l'esistenza di percorso fisso comune relativo all'evoluzione e all'apprendimento negli organismi viventi, introducendo il costrutto della "zona di sviluppo prossimale". Inoltre, ha sostenuto che qualsiasi comportamento ha originariamente una funzione sociale, e solo successivamente diventa uno strumento per l'organizzazione interna dell'organismo [13]. Luria, uno studente di Wygotsky, ha introdotto il concetto della funzione legata alla storia evolutiva finanche del singolo neurone nella rete nervosa personale [13]. Sokolow ha descritto il ruolo dei riflessi nella capacità di orientamento e quello dell'assuefazione agli stimoli esterni, ancora processi storici individuali [14]. Anochin ha ampliato la descrizione del riflesso condizionante di Pavlov con il concetto di simulazione interna dell'azione che produce un modello di informazioni attese come conseguenze dell'azione programmata [14]. Concludendo questo elenco sintetico, Bernstein ha introdotto la descrizione dei gradi di abbondanza o di libertà dell'organismo, e ad essa connessa la descrizione di sinergia associata al concetto di liberazione progressiva dei movimenti coordinativi durante il processo di apprendimento [14]. Abbiamo qui le basi delle moderne teorie sull'apprendimento e sul controllo del movimento. Questi concetti hanno chiuso il ciclo dell'azione introducendo il feedback ambientale e il ruolo dell'intenzione del soggetto. Qualsiasi movimento diviene la conseguenza del ciclo di azione/percezione. La percezione e l'azione non sono due processi differenti ma sono lo stesso processo simile a un nastro di Mobius che sembra l'intreccio di due superfici distinte ma è invece costituito da una superficie unica ottenibile tagliando e ricucendo un nastro dopo aver ruotato di 180 gradi una delle estremità [15].

Chiari esempi dell'influenza di questi approcci sull'orientamento riabilitativo italiano si possono riconoscere in diversi autori che hanno popolato gli scenari italiani negli anni '70 fino agli anni '90. Di seguito vengono riportati tre esempi che non sono esaustivi del panorama che in quegli anni è stato ricco di idee e proposte. In particolare potremmo individuare la scuola toscana, quella romana e quella lombarda. Salvini e Perfetti operavano in Toscana su una popolazione anziana con disabilità neurologiche e si sono ispirati alla scuola russa che ha trovato eco anche nella predilezione di Salvini per l'archeologia. Tentando di recuperare il

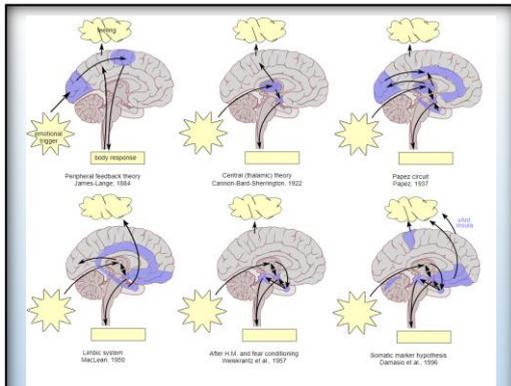


La mano alla ricerca delle tracce percettivo-motorie di memoria e forma utili alla creazione di nuove forme da estrarre dalla forma disponibile di una radice.

movimento nelle persone con ictus, hanno iniziato chiedendo loro di evitare qualsiasi tentativo di movimento volontario. Hanno focalizzato l'attenzione sui canali multi-sensoriali al fine di evitare le attivazioni muscolari involontarie tipiche di alcuni danni neurologici. Solo dopo la comparsa di tracce di movimento in conseguenza di una prolungata attività di allenamento sensoriale partendo dai distretti distali proponevano una contrazione attiva [16]. Successivamente, Perfetti ha standardizzato questo approccio cercando di creare un metodo scientifico orientato principalmente ai processi coscienti di apprendimento. Salvini considera che il tentativo di Perfetti possa tagliar fuori dalla relazione terapeutica la personalizzazione dell'atto riabilitativo, e il coinvolgimento emotivo. Decide pertanto di favorire i comportamenti più familiari per i pazienti, ad esempio per un agricoltore il maneggiare una radice di ulivo. Un comportamento percettivo e motorio alla ricerca della forma per cesellare una nuova pipa. Un comportamento familiare che ha radici profonde nella rete nervosa personale (Luria). Perfetti fonda la rivista "Riabilitazione e apprendimento" stampata bilingue, in italiano e Inglese sullo stesso numero. Nel frattempo, Salvini si è concentrato sulla nozione di

“Riabilitazione e relazionalità”, ovvero verso una riabilitazione che emerge dai processi relazionali in una accezione non necessariamente esplicita.

In Lombardia Boccardi introduce la riabilitazione con una grande visione umanistica. Sostiene che la riabilitazione non è una specialità medica e con difficoltà potrebbe diventare una scienza perché la riabilitazione deduce il suo presupposto da una vasta gamma di nozioni scientifiche. Inoltre, ha sostenuto che l'obiettivo della riabilitazione è l'organismo specifico e non un organo. Infatti, una persona può avere contemporaneamente malattie neurologiche, ortopediche, cardiache, respiratorie, vescicali e cognitive [17]. Quest'ultima considerazione ritorna alla dichiarazione incipit di questo documento e si coniuga con la



L'evoluzione della neurofisiologia delle emozioni per ricordarci che il sistema emotivo è un potente motore nei processi di presa di decisione

considerazione di Damasio sull'errore di Descartes. Descartes ha descritto la separazione degli organi e la separazione tra il corpo e la mente. Damasio ha dimostrato che la mente è incarnata come tutte le sue manifestazioni e che non c'è apprendimento se un organismo è privato delle emozioni, sia negli animali sia nell'uomo [18]. La medicina moderna che ha origine dalla separazione degli organi dall'organismo ed è fondata sulle specialità, è lontana dai concetti e dagli obiettivi riabilitativi? Crenna, studiando l'alterazione neuropatologica alla ricerca della natura della spasticità soprattutto nelle sue manifestazioni durante le attività funzionali, ha concluso che anche se la spasticità è dovuta ad un danno centrale originario non è possibile distinguere il contributo dei meccanismi centrali e periferici a causa della mutua interazione intercorsa durante tutto lo sviluppo dell'organismo [19]. Ancora una volta, non possiamo prescindere dai concetti di interazione e sviluppo. Attualmente, sappiamo che nelle interazioni coinvolte nello sviluppo in condizioni patologiche occorre

introdurre tutti i contributi periferici ovvero il mutamento dei tessuti molli e delle configurazioni biomeccaniche come sostenuto da Holt e Fonseca [20]. In letteratura è ben descritto il ruolo dello stress fisico indotto sulla lamina nucleare delle cellule come meccanismo per determinarne la loro differenziazione ed evoluzione meccanica [21], come anche il ruolo della contrazione precedente sulla variazione della rigidità muscolare dovuta all'effetto chimico sulla Titina [22], per arrivare al ruolo del sangue nel garantire la comunicazione tra cellule anche in specifici distretti corporei distanti tra loro per mezzo del trasporto di vescicole ed esomeri [23].

In altri termini, la capacità di cambiare in conseguenza delle risposte a fattori fisici, psicologici, sociali e ambientali, sta assumendo una coniugazione specifica che parte dal micro e arriva alla macroanalisi e viceversa. Di conseguenza, conoscenze specifiche e ipotesi specifiche devono essere formulate prima, e accanto ad ogni intervento fisico e verificate dopo ogni applicazione, questa è diventato un imperativo scientifico. Un compito non facile in quanto è proprio lo stesso quesito scientifico non semplice da porre.

A Roma Sabbadini e successivamente Pierro (in verità di origini campane), partendo dallo studio sul ruolo della visione sull'acquisizione e controllo del movimento, hanno descritto il contributo della percezione durante sviluppo dei bambini

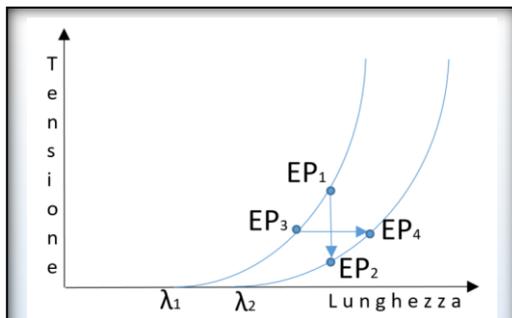


Il concetto di azione visivamente guidata dischiude la strada verso l'approccio ecologico all'organizzazione del movimento aprendo nuove prospettive riabilitative.

con patologie neurologiche [24]. Sabbadini ha sostenuto che la percezione in condizioni patologiche è alterata e sottende la capacità motoria e che i fatti principali sono nascosti sotto i segni clinici che sono osservabili ma costituiscono solo la superficie del fenomeno. Pierro ha poi focalizzato l'attenzione sul movimento dei recettori, evidenziando il fatto che l'organismo cerca attivamente informazioni dall'ambiente per soddisfare i suoi bisogni e ricalibrare i propri scopi. I recettori, infatti, sono orientati verso target specifici e la loro soglia di sensibilità è specificatamente fissata. Pierro ha poi intrapreso un percorso per tentare di arrivare ad una visione unificata della riabilitazione che ha riassunto nel termine Riabilitazione Ecologica, interrotto dalla sua prematura scomparsa.

La capacità dell'organismo di regolare le soglie interne di sensibilità agli stimoli e di attivazione della risposta è un altro meccanismo ricorrente in biologia. Potremmo dire che è sempre un problema di soglia/gradiente. Abbiamo già citato il lavoro di Sokolow. Più recentemente studiando il bilanciamento posturale, Nashner ha descritto l'adattamento dei riflessi alle mutevoli condizioni ambientali, cioè i riflessi sono servomeccanismi a soglia regolabile che garantiscono il guadagno sulla loro risposta allo stimolo semplificando il controllo centrale sulla regolazione fine del movimento [25,26]. E proprio la regolazione della soglia del riflesso da stiramento muscolare diventa fondamentale nella teoria del controllo motorio basata sul punto di equilibrio (EP) muscolare avanzata da Feldman [27]. In questa teoria, il movimento è controllato da un'unica variabile: λ . λ è la lunghezza alla quale il muscolo inizia a esercitare tensione quando allungato. Il SNC definisce il punto di equilibrio dell'articolazione regolando la λ dei muscoli agonisti/antagonisti. Cambiando una o entrambe le soglie nella coppia agonista/antagonista, si altera il punto di equilibrio determinando il movimento, cioè l'articolazione passa dal precedente al nuovo EP. In alternativa, il movimento può essere determinato da una variazione del carico applicato al muscolo. Le posizioni iniziale e finale del giunto sono definite dai rispettivi valori λ dei muscoli coinvolti e dai carichi applicati. Da notare che λ è una variabile né percettiva né motoria ma è una lunghezza. La lunghezza che definisce la soglia di attivazione del muscolo e insieme alle caratteristiche intrinseche del muscolo definisce la sua peculiare curva Tensione/Lunghezza. In questa accezione λ diviene l'unica variabile di controllo del movimento. La teoria del punto di equilibrio in verità è ben più articolata di quanto qui descritto per

brevità, ma questo vale anche per tutti gli argomenti qui trattati. Ha cinquant'anni di storia ed è una delle teorie più longeve sul controllo motorio.



Il modello λ , semplificato nel diagramma, spiega la relazione tra tensione e lunghezza del muscolo e individua la variabile di controllo del movimento per eccellenza da 50 anni. In questo caso due curve caratteristiche dello stesso muscolo con diversa regolazione della soglia di stiramento del muscolo per spiegare una contrazione isometrica dal punto di equilibrio 1 al 2, e di quella isotonica dal punto 3 al 4. Questa teoria ha permesso a Grimaldi di spiegare l'effetto della manovra di "Sollecitazione di trazione in accorciamento cinematico".

Grimaldi, lavorando con Perfetti, ha riscontrato un'elicitazione di attività motoria inattesa lontana dall'ipotesi cognitiva del training che stava conducendo e su alcuni gruppi muscolari teoricamente non direttamente coinvolti nell'ipotesi percettiva formulata [28]. La Teoria del Punto di Equilibrio gli ha offerto una nuova possibile spiegazione dell'effetto dell'allenamento, aprendo una nuova interessante applicazione in fisioterapia della teoria. L'allenamento analizzato attraverso la teoria del punto di equilibrio ha evidenziato un paradosso informativo. Il muscolo è posto in una condizione nella quale equilibra una variazione di carico senza modifiche di regolazione della λ . Questa condizione di paradosso sembra sollecitare il Sistema Nervoso Centrale a recuperare la capacità di controllare λ non più ammissibili in data la lesione, ovvero il recupero di alcune capacità motorie, al fine di rimuovere la catastrofe informativa implicita. Questo tipo di allenamento può essere condotto su un singolo muscolo e in tal caso, la capacità di integrare il nuovo λ nelle sinergie muscolari è deputata ai meccanismi di auto-

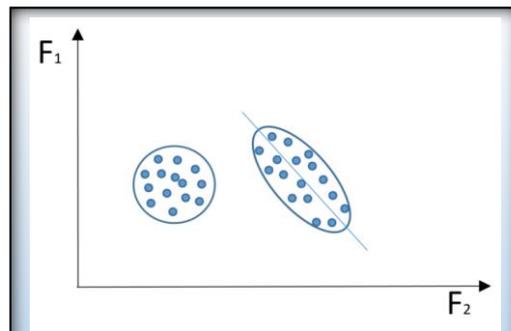
organizzazione. Oppure l'allenamento può essere condotto all'interno di attività sinergiche determinate dal compito e dal contesto di manipolazione. Possedendo il corpo umano più gradi di libertà di quelli necessari per generare un dato movimento l'ipotesi del punto di equilibrio ci spiega come controlliamo la soglia di attivazione ma non la creazione delle sinergie necessarie. Il principio della ridondanza (Bernstein) o dell'abbondanza motoria (Latash), diventa vantaggioso poiché sembra fornire al sistema di controllo le risorse necessarie per la generazione delle sinergie e dei movimenti complessi. Sotto l'ipotesi dell'Uncontrolled Manifold o delle equivalenze motorie sviluppata da Scholz, J. P. & Schöner, G., possiamo trovare una spiegazione di come i gradi di libertà aggiuntivi sono usati per produrre soluzioni motorie riducendo la variabilità che influenza le prestazioni di movimento passando attraverso un meccanismo di affinamento per ripetizione [29].

Verso una teoria evolutiva dell'organismo

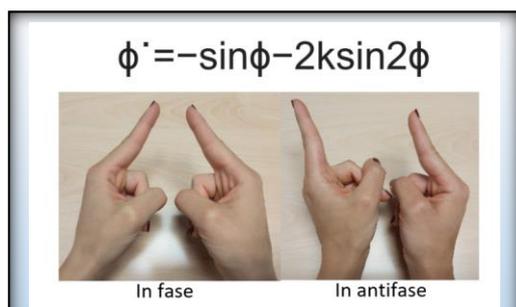
Questa ipotesi sembra trovare una eco nel lavoro della Thelen. Thelen, osservando la maturazione del cammino e il suo raggiungimento nella prima infanzia, ha sostenuto che i processi di auto-organizzazione si avviano quando il sistema è libero di sperimentare la sua intrinseca variabilità, ovvero i

tentativi di coordinazione condotti favoriscono la convergenza della funzione verso la loro ottimizzazione [30]. L'auto-organizzazione di sistemi dinamici complessi non è ormai una novità per il lettore. Un concetto che abbiamo già incontrato a molti livelli a partire dagli aspetti chimici elementari. Infatti, Prigogine ha sostenuto che la complessità dinamica a partire dai processi chimici di base volge verso l'auto-organizzazione quando i meccanismi dissipativi vengono applicati a sistemi non lineari [31]. Cioè, la vita si è espressa all'interno di finestre ristrette lungo un continuum che ha alle sue estremità da un lato strutture come il diamante, ovvero atomi fissati in una struttura rigida immutabile (un diamante è per sempre) e

all'altra estremità il cuore delle stelle, cioè la riconfigurazione caotica degli atomi stessi lungo un'evoluzione durante la quale la stella nasce e muore passando per stadi diversi. La riconfigurazione dinamica per esprimersi nella vita deve sottostare a delle leggi che ne definiscono i limiti di espressione. Se consideriamo il livello di organizzazione sinergica del movimento è necessario che una sinergia sia stabile. Se il sistema fluttua continuamente tra le possibili sinergie non sarebbe pensabile portare a compimento alcuna azione. D'altra parte, l'organizzazione necessita di metastabilità per consentire la transizione tra sinergie in conformità con l'obiettivo del movimento. L'Haken-Kelso-Bunz (HKB) è un modello teorico avanzato per spiegare la transizione di fase negli organismi viventi tra le sinergie stabili, ad esempio durante la coordinazione bimanuale o il cammino piuttosto che la corsa [32]. I concetti principali divengono a questo punto auto-organizzazione, multistabilità e transizione di fase (commutazione).



Rappresentazione cartesiana della formazione di una sinergia ad esempio per la pinza pollice-indice secondo la teoria dell'Uncontrolled Manifold. F1 e F2 sono le forze esercitate dalle due dita e registrate durante prove ripetute. Se si distribuiscono in un'area circoscritta dal cerchio significa che la loro distribuzione è casuale, se si distribuiscono entro un'ellisse allora è presente la formazione di una chiara sinergia.

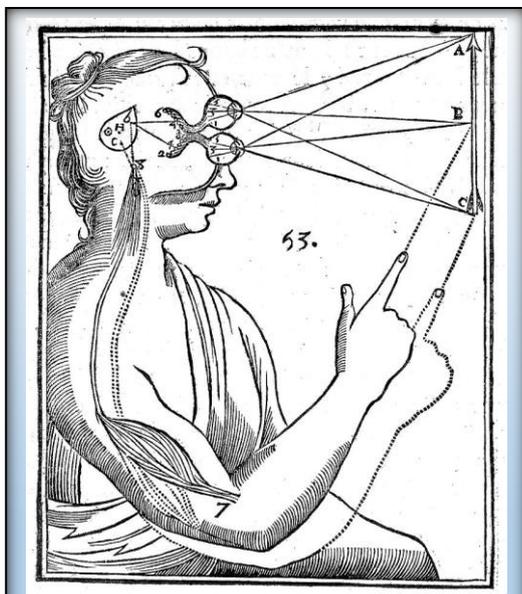


L'equazione di Haken-Kelso-Bunz spiega come avvengono le transizioni di fase di movimenti oscillatori degli arti. Una relazione che spiega come la transizione di fase sia soggetta a specifiche regole di stabilità dinamica che sottendono l'autorganizzazione.

Un altro aspetto strettamente legato a quest'ultima tesi implica la domanda se l'azione sia determinata da fattori/programmi interni (Jeannerod) [33] o se sia determinata dalle caratteristiche fisiche dell'accoppiamento corpo/ambiente (Kelso & Turvey) [32]. Ad esempio, determinare il lato lungo di una penna è possibile anche senza vederla, ma manipolandola e percependone immediatamente il momento rotatorio maggiore sul lato lungo, mentre un'azione complessa necessita della programmazione interna della sua corretta sequenza temporale, prima apro la bottiglia e poi verso l'acqua. Le leggi fisiche implicano l'applicazione di numerose forze, cioè vincoli, sull'organismo come il peso, la coppia o momento rotazionale, l'inerzia, le forze centrifughe, mentre l'accoppiamento di più segmenti oscillanti tra loro introducono al concetto di vincolo olonimo. I vincoli olonimi sono di particolare interesse in quanto non possono essere definiti da leggi generali e/o da un'unica equazione. Ciò significa che il movimento nasce dall'accoppiamento di tutti gli elementi fisici su menzionati che necessitano di una struttura coordinativa dinamica specifica non solo per ogni compito ma spesso specifica anche per contesto, si prenda ad esempio il cammino su pavimentazione rispetto al cammino su sentiero montuoso.

L'approccio ecologico

L'approccio ecologico ha trovato la sua base nell'osservazione dell'evoluzione dei fenomeni naturali e delle loro interazioni. In effetti, incontriamo questo approccio in molte delle teorie scientifiche sopra menzionate. È stato applicato all'apprendimento, movimento compreso, alle relazioni interpersonali fino alle implicazioni sociologiche. Le teorie di Darwin erano fondate sull'osservazione degli animali nel loro ambiente ecologico. La teoria dell'imprinting di Konrad Lorenz deriva dall'osservazione del comportamento delle oche nel loro ambiente naturale, gettando nuova luce sulla relazione tra innato e appreso [34]. Nel libro *"Verso un'Ecologia della Mente"*, Bateson introduce il concetto di cambiamento fisico del corpo legato ai processi evolutivi, interpretando il corpo come un sistema ecologico volto al mantenimento dell'omeostasi [35]. L'unità essenziale per la sopravvivenza diventa l'organismo all'interno della sua



Cartesio riteneva che l'integrazione percettivo-motoria fosse opera della epifisi.

peculiare nicchia ecologica. Inoltre, il ruolo dell'informazione è destinato a diventare centrale per la comprensione del complesso sistema ecologico. J.J. Gibson studiando il ruolo della visione nei processi di apprendimento motorio è arrivato a definire l'approccio ecologico alla percezione visiva. Ha ridefinito il concetto di informazione, sensazione e percezione proponendo di superare i concetti di comportamentismo e cognitivism con il concetto di percezione diretta [36]. Le informazioni immediatamente disponibili guidano la maturazione dell'organismo fornendo la maggior parte dei fatti di cui l'organismo necessita per organizzare le azioni relative ai suoi bisogni e obiettivi. Le informazioni immediatamente disponibili che l'organismo estrae dal mondo fisico possono essere classificate in base alle loro caratteristiche principali: mezzo, sostanze e superfici. I mezzi sono permeabili come ad esempio aria, acqua o campi di forza. Le sostanze non sono permeabili e hanno compattezza, fragilità e peso diversi. Le superfici sono le demarcazioni tra mezzi e sostanze e possono essere uniformi, ruvide, morbide, dure o scivolose.

Attraverso queste caratteristiche immediatamente disponibili, l'organismo ottiene informazioni sulla forma dell'oggetto, sui materiali, sulle superfici, sulla loro trasparenza, sulla loro fragilità, sul loro peso, sulla natura del mezzo (aria, liquidi e vetro sono trasparenti, ma non puoi passare attraverso il vetro) e sulla loro relazione con le parti del corpo. Le informazioni visive collegano immediatamente il corpo all'ambiente.



Gentile concessione della RAAAF

Esempio di affordances. La disponibilità all'azione è definita dalla possibilità immediatamente percepita di accoppiamento tra corpo e struttura fisica dell'ambiente. Una proprietà destinata a mutare nel tempo.

L'accoppiamento corpo-ambiente determina i vincoli da un lato e la disponibilità per l'esecuzione dell'azione dall'altro. Sia i vincoli che la disponibilità definiscono la sfera delle azioni accessibili. Le disponibilità all'azione cambiano durante la crescita. Quando sei un bambino, puoi attraversare uno steccato strisciando sotto di esso. Quando sei giovane puoi saltarlo facilmente. In età avanzata serve un passaggio, un percorso sicuro per attraversarlo. Le *affordances* definiscono la scelta dell'azione. Percepriamo le *affordances* di un oggetto più facilmente delle sue caratteristiche specifiche, come nell'esempio dell'attraversamento dello steccato. Il cervello diventa il *medium* che gestisce relazioni tra il corpo e l'ambiente. Il cervello ha il compito di estrarre l'invarianza di una relazione in continua evoluzione. Le *affordances* hanno trovato consistenza da diverse prospettive scientifiche. Infatti questo concetto ha guidato il fisiologo durante lo studio della corteccia sensori-motoria della scimmia fino alla descrizione dei circuiti in cui sono rappresentate le specifiche

caratteristiche summenzionate degli oggetti e del mondo fino alla descrizione dell'area F5 nella quale è rappresentata una sorta di vocabolario del gesto motorio [37, 38]. I fisiologi hanno anche descritto l'attività dei neuroni multimodali in grado di rispondere quando un oggetto si avvicina alla mano, sia allo stimolo visivo che tattile in procinto di arrivare [38]. Recenti studi sulla corteccia delle scimmie hanno cambiato radicalmente le idee sull'organizzazione della corteccia motoria. Si è passati dalla considerazione di due aree principali, area primaria e area supplementare, per passare alla descrizione di un mosaico di aree con connessioni e proprietà funzionali specifiche [39].

Comunemente, una persona è impegnata in un'attività durante la quale le informazioni, la geometria e la biomeccanica sono condivise in un contesto particolare, cioè una persona che cammina (compito) su un sentiero di montagna (contesto). L'azione nasce dall'interazione soggetto-ambiente ed è organizzata da un attrattore strano. L'attrattore strano è un concetto in fisica usato per identificare una struttura stabile che governa le complesse dinamiche di un sistema, in questo caso, l'accoppiamento corpo-ambiente. Attualmente possiamo identificare gli elementi, le forze, o meglio le variabili indipendenti coinvolte, ma non le specifiche leggi fisiche che lo governavano. Un tornado è il risultato di uno strano attrattore, sono note che le variabili coinvolte come temperatura, pressione, forza del vento e direzioni. Ma la legge che le collega, utile a generare il tornado, non è nota. Tuttavia, un tornado è una struttura dinamica molto stabile ed è impossibile fermarlo una volta innescato finché non evolve perdendo l'energia che lo alimenta. L'energia è un elemento fondamentale che favorisce il passaggio tra gli stati di meta-stabilità del sistema. Rispetto ai vincoli olonimi precedentemente citati, ogni azione necessita di una specifica struttura coordinativa dinamica con un suo specifico stato energetico che accoppia in modo ottimale i vincoli e le opportunità interne all'organismo con i vincoli e le opportunità esterne ambientali all'azione e che insieme definiscono le *affordances* all'azione. Ancora una volta abbiamo prove scientifiche con tecniche di risonanza magnetica funzionale che diversi pool neuronali sono impegnati per controllare la coordinazione dinamica garantendo la loro meta-stabilità ad esempio differenziando azioni come lo stare in piedi, il camminare o la corsa. È possibile definire anche *affordances* sociali estendendo la selezione delle azioni in rapporto dalla nicchia ecologica familiare fino alla partecipazione alle attività di comunità.

Anche quando consideriamo una singola azione come camminare, stare in piedi o afferrare un oggetto, l'interpretazione attraverso gli strumenti dell'approccio ecologico divengono utili nel comprendere la

natura della funzione per migliorare il processo decisionale riabilitativo. La riabilitazione richiede prove dei risultati dei trattamenti. Ma la definizione del trattamento e delle prove necessita della comprensione della funzione. Camminare, stare in piedi, afferrare oggetti dipende dalle condizioni della fibra muscolare contrattile, dall'elasticità della titina e del tendine, dal livello di guadagno dei servomeccanismi periferici, dai vincoli indotti dalla gravità, dalle forze inerziali e centrifughe, dalla complessità della sinergia muscolare, dall'età, dalla cognizione, dai bisogni e obiettivi sociali dell'organismo, dall'emozione e dal giudizio degli altri. La specificazione di una simile mappa potrebbe consentire l'allocazione dell'organizzazione e dello sviluppo dell'organismo precedentemente rappresentato. Potrebbe offrire un formidabile supporto per l'organizzazione dei processi riabilitativi partendo dalle *affordances* dell'organismo. L'approccio ecologico muove verso il concetto di incarnazione delle attività dell'organismo espresse dai singoli individui [40]. Un'incarnazione dello spirito meglio espresso da Spinoza piuttosto che da Cartesio. Un'incarnazione estesamente descritta da Spinoza prima della conferma scientifica contemporanea operata da Damasio.

Ad esempio, la visione della forma dell'oggetto e della forma della mano guidano l'adattamento della mano durante compiti di prensione. L'adattamento della mano dipenderà anche dall'obiettivo dell'azione, ovvero colpire, afferrare o accarezzare (vocabolario motorio). In questa prospettiva, abbiamo oggetti che possono essere classificati come morbidi, duri, pesanti o leggeri che inducono anche l'adattamento della forza di prensione. Quando l'oggetto o l'organismo si muovono, la percezione delle invarianze di movimento e quindi della loro prevedibilità guidano l'organizzazione delle strategie migliori. Mentre l'ottimizzazione del gesto diviene un concetto biologico legato alle finalità dell'organismo.

La manipolazione del compito e del contesto, delle informazioni e dei vincoli biomeccanici durante l'interazione, consentono la definizione dell'allenamento che meglio può indurre e sintonizzare le attività funzionali utili agli obiettivi riabilitativi. Questo tipo di analisi può anche facilitare la definizione dei protocolli riabilitativi in termini di finalità di ricerca.

The future of the research in rehabilitation seems to cross the multidisciplinary approach and the complexity challenge.

"...Inspired by contemporary work in movement science, perceptual psychology, neuroscience, and dynamic systems theory, multidisciplinary approaches are affording new insights into the processes by which infants and children learn to control their bodies. In particular, the new synthesis emphasizes the multicausal, fluid, contextual, and self-organizing nature of developmental change, the unity of perception, action, and cognition, and the role of exploration and selection in the emergence of new behavior. Studies are concerned less with how children perform and more with how the components cooperate to produce stability or engender change...[30]"

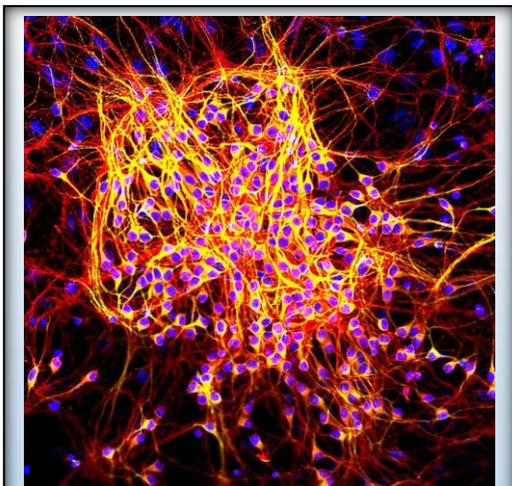
Nuove competenze per future prospettive

La principale competenza del Fisioterapista dovrebbe includere la conoscenza delle Neuroscienze e della Biologia Evolutiva. Probabilmente la responsabilità primaria di un fisioterapista è il raggiungimento di queste conoscenze e quindi la loro coniugazione nei vari contesti personali e patologici alla ricerca delle risorse residue disponibili al cambiamento.



Fagg e Arbib hanno descritto i circuiti neurali che spiegano come le caratteristiche percepite dell'oggetto guidino l'orientamento e l'adattamento della mano per una corretta presa dell'oggetto. La tazza può indurre una pinza di pollice e indice per afferrare il manico, o una presa con tutta la mano o la presa sul bordo superiore cambiando orientamento della mano. L'oggetto, e come viene presentato, inducono una diversa organizzazione del gesto. Un processo utile per evocare strategie motorie in riabilitazione.

In tale direzione le recenti scoperte scientifiche stanno aprendo nuove prospettive come nel caso della malattia della mente errante, come è stato anche definito il morbo di Alzheimer, in quanto sembra risparmiare la mente operativa almeno fino alle fasi più gravi, e che sembra altresì sposarsi con i tempi moderni che allungando notevolmente le aspettative di vita pare ne favoriscano l'espressione. Ma proprio i



In figura è illustrata in colore la proteina tau, in giallo nei dendriti e nel corpo cellulare e in rosso negli assoni. È coinvolta nella disgregazione dei microtubuli e nella formazione delle placche amiloidi nell'Alzheimer. Un metabolismo patologico che oggi è noto sia conseguenza di fino a 20 anni di fase prodromica e la cui cura si poggia sempre più sulla prevenzione dei fattori scatenanti e degli stili di vita.

progressi scientifici, soprattutto in campo biologico, stanno dischiudendo nuove prospettive terapeutiche, non solo per l'Alzheimer. Infatti, l'analisi dei meccanismi di insorgenza di questa malattia ha evidenziato il legame multifattoriale con differenti elementi che comprendono prevalentemente: il disturbo metabolico legato allo smaltimento di gruppi particolari di proteine, i peculiari processi infiammatori, i deterioramenti della comunicazione cellulare per alterazione dei neurotrasmettitori, l'azione della microglia sui processi immunitari non adattivi e nel rimodellamento delle connessioni sinaptiche, il personale profilo di naturale invecchiamento, la peculiare organizzazione del sistema immunitario adattivo, la riduzione del sonno profondo, la condizione femminile della menopausa con riduzione degli estrogeni e del sonno in generale, la condizione metabolica con particolare riferimento al diabete, all'obesità, alla riduzione dell'effetto neurotrofico dell'attività motoria, e per finire con l'inquinamento atmosferico con particolare riferimento al biossido di azoto e alle polveri sottili PM 2,5. Da questa recente rivisitazione dei meccanismi di insorgenza della malattia si sono avviate numerose nuove linee di ricerca che porteranno nuova luce sui meccanismi di cura. Nell'immediato questa rivisitazione ha permesso di comprendere che la malattia ha 20 anni di fase prodromica prima della sua manifestazione conclamata all'interno della quale operano in modo sinergico gli elementi sopra elencati. Se ora la sfida è cercare di comprendere in che modo si realizza tale infausta sinergia, e quali sono i marcatori per una

diagnosi precoce, altresì si è compreso che vi sono delle finestre temporali per agire prima che i processi diventino irreversibili avendo coinvolto l'intima natura della interazione biologica [41, 42]. In altri termini si sta aprendo la strada, a fianco di quella delle cure e dell'assistenza, per una comprensione delle azioni di prevenzione della malattia agendo sugli stili di vita, cosa impensabile fino a pochi anni fa, quando le speranze erano riposte unicamente sulla farmacologia. Si apre in tale campo un nuovo terreno dove il Fisioterapista agisce a fianco della persona malata e dei familiari, un terreno nel quale la nuova Società Scientifica AIFI dovrà adoperarsi anche a fianco degli altri professionisti, perché una sfida inerente con le malattie multifattoriali non si vince da soli. Fermo restando che vi siano risorse da investire per una prevenzione condotta su larga scala basata su ipotesi di futura probabilità di contrarre la malattia.

Questa discussione andrebbe prima allargata per arrivare alla più ampia condivisione evitando di trascurare aspetti importanti e poi coniugata e sviluppata per ogni specifico aspetto e obiettivo riabilitativo alla luce delle recenti acquisizioni relative alle possibili nuove spiegazioni che la scienza ci offre. Ovvero per offrire ai colleghi strumenti utili a tradurre le spiegazioni scientifiche in pratica terapeutica e calarli nei specifici bisogni del paziente.

Bibliografia

1. Charles Darwin. *On the Origin of Species* 1959. Down, Bromley, Kent, UK.
2. Brenda Maddox. The double helix and the 'wronged heroine'. *NATURE*|VOL 421|23 JANUARY 2003. doi:10.1038/nature01399
3. Mitch Glickstein. Golgi and Cajal: The neuron doctrine and the 100th anniversary of the 1906 Nobel Prize. *Current Biology* Vol 16 No 5.
4. A. M. Turing. The Chemical Basis of Morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol.237, No. 641. (Aug. 14, 1952), pp. 37-72.
5. A. M. Turing (1950) Computing Machinery and Intelligence. *Mind* 49: 433-460.
6. Jacques Monod. *Il caso e la necessità*. 1970. Mondadori ed. Oscar saggi.
7. Jean-Pierre Changeux. *L'uomo neuronale*. 1993. Feltrinelli ed.
8. Donald O. Hebb, *Mente e pensiero* 1982. il Mulino, Bologna.
9. Sylverstein A.M. *A Hystory of Immunology*. 2009. Academic Press, Cambridge,
10. Gerald M. Edelman. *Più grande del cielo. Lo straordinario dono fenomenico della coscienza*. Einaudi ed.
11. Thomas Heimburg and Andrew D. Jackson. 2005. On soliton propagation in biomembranes and nerves. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0503823102
12. Stuart Hameroff and Roger Penrose. Consciousness in the universe. A review of the 'Orch OR' theory. 2014. *Physics of Life Reviews* 11; 39–78.
13. Lev S. Vygotskij. *Il processo cognitivo*. 1987. Bollati Boringhieri ed.
14. Anochin Petr Kuzmic, Bernstein N. A., Sokolov E. N., Mecacci L. (cur.). 1973. *Neurofisiologia e cibernetica*. Astrolabio Ubaldini ed.
15. Turvey , M. T. Impredicativity, dynamics, and the perception–action divide. 2004. In V. K. Jirsa & J. A. S. Kelso (Eds.), *Coordination Dynamics: Issues and Trends. Vol.1: Applied Complex Systems* (pp.1 –20). New York : Springer-Verlag.
16. G F Salvini, C C Perfetti. A new method of rehabilitation of the hand in hemiplegic patients. (Preliminary results). *Riv Neurobiol.* Jan-Mar 1971;17(1):11-20.
17. boccardi.blogspot.com
18. Antonio Damasio. *L' errore di Cartesio. Emozione, ragione e cervello umano*. 1995. Adelphi ed.
19. Paolo Crenna. Spasticity and 'spastic' gait in children with cerebral palsy. 1998. *Neurosci Biobehav Rev* Jul;22(4):571-8. doi: 10.1016/s0149-7634(97)00046-8
20. Kenneth G Holt and Sérgio T Fonseca. The dynamics of gait in children with spastic hemiplegic cerebral palsy: Theoretical and clinical implications. 2000. *Human Movement Science* 19(3):375-405.DOI: 10.1016/S0167-9457(00)00019-1
21. Joe Swift, Irena L Ivanovska, Amnon Buxboim, Takamasa Harada, P C Dave P Dingal, Joel Pinter, J David Pajeroski, Kyle R Spinler, Jae-Won Shin, Manorama Tewari, Florian Rehfeldt, David W Speicher, Dennis E Discher. Nuclear lamin-A scales with tissue stiffness and enhances matrix-directed differentiation. *Science* 2013 Aug 30;341(6149):1240104. doi: 10.1126/science.1240104.
22. Walter Herzog, Timothy R Leonard, Venus Joumaa, Ashi Mehta. Mysteries of muscle contraction. *J Appl Biomech.* 2008 Feb;24(1):1-13. doi: 10.1123/jab.24.1.1.
23. Adeel Safdar, Ayesha Saleem & Mark A. Tarnopolsky. The potential of endurance exercise-derived exosomes to treat metabolic diseases. *Nature Reviews Endocrinology* volume 12, pages 504–517(2016).
24. Sabbadini G, Bonini P, Pezzarossa B, Pierro MM, *Paralisi cerebrale e condizioni affini* Roma, Il Pensiero Scientifico editore (1978).
25. L.M. Nashner. Adapting Reflexes Controlling the Human Posture. *Exp. Brain Res.* 26, 59-72 (1976).
26. L.M. Nashner. Fixed Patterns of Rapid Postural Responses among Leg Muscles during Stance. *Exp. Brain Res.* 30, 13-24 (1977).

27. Feldman AG. Once more on the equilibrium-point hypothesis (λ model) for motor control. *J Mot Behav* 1986;18:17-54.
28. Luigi Grimaldi. Evocazione di componenti motorie assenti nelle lesioni del sistema nervoso centrale Giardini editori e stampatori, 1984.
29. Schöner G. Recent developments and problems in human movement science and their conceptual implications. *Ecological Psychology* 1995;8:291–314.
30. Thelen, E. (1995). Motor development: A new synthesis. *American Psychologist*, 50(2), 79–95. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.2.79>
31. Ilya Prigogine. Time, Structure And Fluctuations Nobel Lecture, 8 December, 1977.
32. Fuchs A. (2013) Haken-Kelso-Bunz (HKB) Model. In: *Nonlinear Dynamics in Complex Systems*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33552-5_7.
33. Jeannerod, M. (1997). *The Cognitive Neuroscience of Action*. Wiley-Blackwell.
34. Konrad Lorenz, *L'anello di Re Salomone*, traduzione di Laura Schwarz, Biblioteca Adelphi, Adelphi, 1989, ISBN 88-459-0687-6.
35. Bateson, G. (1977) *Verso un'ecologia della mente*, Trad. di Giuseppe Longo e di Giuseppe Trautteur, Milano, Adelphi, ISBN 978-88-459-1535-2
36. Gibson J. J. *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston, 1979, ISBN 0-89859-959-8 (1986), Trad. it. *Un approccio ecologico alla percezione visiva*, Mimesis, Milano-Udine, 1999
37. Fagg, A. H., & Arbib, M. A. (1998). Modeling parietal-premotor interactions in primate control of grasping. *Neural Networks*, 11(7-8), 1277–1303. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(98\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(98)00047-1)
38. Giacomo Rizzolatti, & Corrado Sinigaglia. *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*. Raffaello Cortina Ed. 2006.
39. G. Luppino and G. Rizzolatti. The Organization of the Frontal Motor Cortex. *News Physiol. Sci.* Volume 15; October 2000: 219-24.
40. Michael J. Richardson, Kevin Shockley, Brett R. Fajen, Michael A. Riley and Michael T. Turvey. *Ecological Psychology: Six Principles for an Embodied–Embedded Approach to Behavior*. From: *Handbook of Cognitive Science: An Embodied Approach*, Edited by Paco Calvo and Antoni Gomila.
41. Michaud M, Balardy L, Moulis G, Gaudin C, Peyrot C, Vellas B, Cesari M, Nourhashemi F. Proinflammatory cytokines, aging, and age-related diseases. *J Am Med Dir Assoc*. 2013 Dec;14(12):877-82. doi: 10.1016/j.jamda.2013.05.009. Epub 2013 Jun 20. PMID: 23792036.
42. Fitzpatrick, A., Falcon, B., He, S. et al. Cryo-EM structures of tau filaments from Alzheimer's disease. *Nature* 547, 185–190 (2017). <https://doi.org/10.1038/nature23002>