




Studi / Studies



Mente, cervello, educazione: la “forza” dinamica dell’intelligenza

Mind, brain, education: the dynamic “force” of intelligence

Diana Olivieri

Università Ca’ Foscari, Venezia

diana.olivieri@univirtual.it

ABSTRACT

Developing learning objectives that reflect the idea that intelligence is constituted by an expandable repertoire of abilities, and that therefore it is possible, through personal efforts, to make it increase in an incremental way, is the pedagogic imperative of the XXI century.

In fact, intelligence or “adaptive behaviour” is connected to cognitive modifiability and plasticity, which finds a solid neuroscientific base in the ecological plasticity of the brain. Drawing on the idea of intelligence as a modifiable entity, a force that drives the organism to change itself, by sustaining the possibility of teaching intelligence and that human beings may continue to improve their cognitive functioning up to the end of their days, Feuerstein method not only lines up to neuroscientific research, but straight to the laws of Physics.

Passing from the analogy that mechanical physics allows us to make among a conception of intelligence as dynamic agent and the physical concept of oscillatory motion, it is possible to come to define intelligence as a physical force able to maximize the future liberty of action, conducting the individual system toward the best of the possible futures.

A new pedagogical culture, calling itself to the new methods of cognitive enrichment, to educational neuroscience and incredibly to the laws of physics, emphasizes how academic results and critical thinking must constitute two indispensable outcomes of learning today, for whatever age group.

Sviluppare obiettivi d’apprendimento che riflettano l’idea che l’intelligenza sia costituita da un repertorio espandibile di abilità e che quindi sia possibile, attraverso gli sforzi personali, farla aumentare in modo incrementale, è l’imperativo pedagogico del XXI secolo. L’intelligenza o “comportamento adattivo” è infatti connessa alla modificabilità e alla plasticità cognitiva, che trova un solido fondamento neuroscientifico nella plasticità ecologica del cervello.

Basandosi su un’idea di intelligenza come entità modificabile, una forza che guida l’organismo a cambiare se stesso, sostenendo la possibilità di insegnare l’intelligenza e che l’essere umano possa continuare a migliorare il proprio funzionamento cognitivo fino alla fine dei suoi giorni, il metodo Feuerstein si allinea non solo alla ricerca neuroscientifica, ma addirittura alle leggi della Fisica.

Passando dall’analogia che la fisica meccanica ci consente di fare tra una concezione dell’intelligenza come agente dinamico e il concetto fisico di moto oscillatorio, è possibile arrivare a definire l’intelligenza come forza fisica capace di massimizzare la futura libertà d’azione. Una forza tale da condurre il sistema individuo verso il migliore dei futuri possibili.

Una nuova cultura pedagogica, appellandosi ai nuovi metodi di arricchimento cognitivo, alle neuroscienze dell’educazione e incredibilmente alle leggi della Fisica, enfatizza oggi come i risultati accademici e il pensiero critico debbano costituire due esiti irrinunciabili dell’apprendimento, per qualunque fascia d’età.

KEYWORDS

Intelligence, Dynamic assessment, Cognitive modifiability, Educational neuroscience, Law of Physics.

Intelligenza, Assessment dinamico, Modificabilità cognitiva, Neuroscienze dell’educazione, Leggi della Fisica.

Introduzione

Il termine intelligenza è una parola carica di significato. È difficile da misurare e ancor più difficile da definire, eppure ci sentiamo di affermare che l'essere umano sia l'animale più intelligente presente sulla Terra.

È probabile che l'intelligenza umana sia oggi prossima al suo limite evolutivo, come sembrano suggerire varie linee di ricerca. Questo limite evolutivo è definito dalle leggi della Fisica, alle quali è inevitabilmente soggetto il nostro cervello.

Potremmo pensare, ad esempio, che i processi evolutivi possano aumentare il numero di neuroni del nostro cervello o aumentare la frequenza con cui questi neuroni scambiano informazioni tra loro, e che tali cambiamenti possano renderci più brillanti, in una parola più *intelligenti*.

Eppure le indagini neuroscientifiche sembrano suggerire che soluzioni del genere si troverebbero comunque a dover fare i conti con i limiti fisici, limiti riconducibili alla natura stessa del neurone e degli scambi chimici statisticamente rumorosi attraverso i quali i neuroni comunicano. Informazione, rumore ed energia sono inestricabilmente connessi, e tale connessione esiste ad un livello termodinamico.

Le leggi della termodinamica, quindi, impongono un limite all'intelligenza neuronale, leggi che si applicano universalmente, che si tratti del cervello di uccelli, primati, pesci o insetti. Ma l'essere umano possiede pacchetti di neuroni più piccoli e più densamente connessi, una configurazione che ha dimostrato un impatto reale sull'intelligenza.

È possibile raggiungere livelli di intelligenza superiore agendo collettivamente, attraverso lo scambio e la mediazione cognitiva tra individui già massimamente intelligenti a livello strutturale.

Nel 2005 i neurobiologi Gerhard Roth e Ursula Dicke dell'Università di Bremen in Germania, hanno raccolto e definito numerosi tratti che, secondo loro, predicono l'intelligenza tra le specie, misurata in termini generali sulla base della complessità dei comportamenti messi in atto. La loro previsione risulta addirittura più efficace del quoziente di encefalizzazione (che stima la capacità cranica rispetto alla massa corporea).

La sola stretta correlazione con l'intelligenza starebbe nel numero di neuroni presenti nella corteccia, sommato alla velocità dell'attività neuronale, che diminuisce all'aumentare della distanza tra neuroni e aumenta con il livello di mielinizzazione degli assoni¹.

Assoni più sottili risparmierebbero spazio e consumerebbero meno energia, tuttavia la natura, intelligente com'è, sembra averli creati già tanto sottili, quanto è il caso che essi siano; se fossero più sottili l'apertura casuale dei canali di comunicazione renderebbe gli assoni troppo rumorosi, che tradotto significa che invierebbero troppi segnali anche quando il neurone non dovrebbe affatto scaricare. È dunque plausibile che gli assoni di cui disponiamo abbiano già raggiunto il loro limite fisico di perfezionamento, oltre il quale sopraggiungerebbero nuove problematiche.

Probabilmente siamo già molto vicini ad essere tanto intelligenti, quanto un'intelligenza a base neuronale può essere.

È altrettanto plausibile che, al contrario, non esista alcun limite funzionale di

1 La mielina è uno strato grasso di isolamento che consente agli assoni di trasmettere i segnali più rapidamente.

“insuperabilità” per il cervello, del tipo esemplificato dal limite della velocità della luce.

La mente umana, diversamente dal cervello, può espandersi senza il bisogno di ulteriori evoluzioni biologiche, attraverso la mediazione di altre menti significative. Dopotutto gli insetti sociali per eccellenza, le api, fanno proprio questo: agiscono di concerto e formano un’entità collettiva molto più intelligente di quanto non lo sia la somma delle sue parti.

Se Roth ha ragione, allora i piccoli neuroni presenti nei primati avranno un duplice effetto: primo, consentire un maggiore incremento numerico di cellule corticali con l’aumentare delle dimensioni del cervello; secondo, consentire una comunicazione più ravvicinata.

Balene ed elefanti sono ragionevolmente intelligenti, ma i loro grossi neuroni e i loro grossi cervelli conducono inevitabilmente ad alcune inefficienze. La densità di impacchettamento dei neuroni è infatti molto più bassa, e questo significa che la distanza tra neuroni è maggiore e la velocità degli impulsi nervosi è molto più bassa.

Nei fatti, i neuroscienziati hanno recentemente osservato un pattern simile nelle variazioni presenti tra esseri umani: le persone con linee di comunicazione neuronali più rapide tra le loro aree cerebrali sembrano essere anche più intelligenti.

In uno studio condotto nel 2009 da Martijn P. van den Heuvel dell’University Medical Center Utrecht nei Paesi Bassi, che ha sfruttato la risonanza magnetica funzionale per immagini per misurare direttamente in che misura le varie aree cerebrali comunicano tra loro – ossia se comunicano attraverso un numero esiguo o elevato di aree intermediarie è emerso che percorsi più brevi tra aree cerebrali correlavano con un quoziente intellettivo più alto.

Sempre nel 2009 i neuroscienziati Edward Bullmore e Olaf Sporns hanno ottenuto risultati simili, mettendo a confronto la memoria di lavoro di 29 individui sani, per poi utilizzare le registrazioni magnetoencefalografiche prese dallo scalp dei soggetti per stimare la rapidità del flusso di comunicazione tra aree cerebrali. Gli individui che mostravano una comunicazione più diretta e rapida tra neuroni erano anche coloro che avevano una migliore memoria di lavoro.

Il funzionamento della memoria di lavoro, quindi, è un ottimo correlato neuroscientifico del livello di intelligenza.

A questo punto possiamo azzardarci a parlare dell’esistenza di una vera e propria *fisica del pensiero*.

1. La memoria di lavoro come correlato neuroscientifico dell’intelligenza

In termini neuroscientifici, la memoria di lavoro è una funzione chiave della cognizione umana, che dipende dall’adeguata neurotrasmissione di dopamina corticale e che consiste nell’ampliamento dello spazio di pensiero per lasciare il posto alle unità d’informazione necessarie all’atto mentale. Generalmente a emergere dalle scansioni fMRI² è una correlazione negativa dominante in tutte le regioni inte-

2 Per identificare le regioni cerebrali implicate nella memoria di lavoro, è possibile eseguire una risonanza magnetica funzionale e confrontare l’attività presente durante un compito di memoria di lavoro con quella presente durante un compito di confronto (cfr. Cohen et al., 1994).

ressate, con una diminuzione maggiore nel potenziale di legame dei recettori della dopamina (D1), associata ad un maggiore aumento della memoria di lavoro.

Inoltre, ci sono aspetti del funzionamento cerebrale, come il consumo energetico indicato dal metabolismo del glucosio, che si associano strettamente al fattore generale dell'intelligenza (g). Ossia, più un individuo è "intelligente", meno volume cerebrale utilizzerà e quindi consumerà meno energia per elaborare un compito, rispetto a un individuo di intelligenza media (Jausovec, 2000).

Sappiamo oggi che una serie di aree dei lobi frontali e parietali del cervello sono strettamente e causalmente associate all'intelligenza generale (Jung & Haier, 2007).

In particolare, è stato dimostrato che i cambiamenti della capacità della memoria di lavoro legati ad un allenamento costante (14 ore di training per 5 settimane) si associano a cambiamenti nel potenziale di legame dei recettori dopamina-1 sia nella corteccia prefrontale³ che in quella parietale.

Comprendere i contributi della corteccia prefrontale alla memoria di lavoro è centrale per la comprensione delle basi neurali della cognizione di alto livello.

Un'intrigante caratteristica del cervello adulto è la sua capacità di modificarsi strutturalmente e funzionalmente in risposta a stimoli esterni. Questa plasticità del sistema nervoso adulto è stata al centro degli sforzi di ricerca per decenni. Gli antecedenti storici delle idee sui cambiamenti cerebrali in relazione a fattori esperienziali possono essere fatti risalire all'Antica Grecia (cfr. Diamond, 2001) e hanno catturato l'immaginazione di scienziati, filosofi e scrittori.

Nel XVIII secolo si ipotizzava che il tessuto nervoso potesse rispondere all'esercizio con una crescita fisica. Anche Charles Darwin (1874) allude all'impatto dell'ambiente sul cervello nella sua descrizione dei conigli selvatici come dotati di un cervello più grande rispetto ai conigli addomesticati.

Il cervello conserva la sua capacità di mantenersi chimicamente e anatomicamente plastico fino a un'età avanzata⁴.

2. Cambiare la prospettiva sull'intelligenza

Il concetto e la concezione stessa di intelligenza stanno cambiando.

La sua forza dirompente, la sua natura alternativamente vincolante ed emancipatoria influenza la ristrutturazione stessa dell'educazione e della società in generale.

Un tempo l'intelligenza era considerata come un'entità fissa e immutabile (ossia come una costante, e non come una variabile) e per dimostrarne la presenza era necessario ottenere valutazioni positive delle proprie abilità, evitando di dare dimostrazione di inadeguatezza.

In tal senso la manifestazione concreta dell'intelligenza corrispondeva alla performance al compito, che avrebbe potuto dare soltanto due esiti possibili: capacità o incapacità.

- 3 La corteccia prefrontale è un'area associativa particolarmente sviluppata nell'essere umano che va incontro a uno sviluppo anatomico estremamente lento che la porta ad essere matura solo nell'adulto.
- 4 Gli effetti dell'arricchimento sulla corteccia visiva, osservati in ratti adulti, può essere ugualmente osservata anche nei ratti anziani. Anche l'amigdala mostra proprietà plastiche in risposta alle influenze ambientali.

La valutazione di incapacità contribuiva a generare una concezione di sé fortemente negativa che, come la psicologia ci insegna, può influenzare qualunque sforzo successivo.

Secondo questa concezione, infatti, sforzo e abilità sono correlati negativamente e doversi sforzare molto per riuscire a eseguire un compito è considerato un segnale di scarsa abilità (Resnick & Hall, 1998).

Sviluppare obiettivi d'apprendimento che riflettano l'idea che l'intelligenza sia costituita da un repertorio espandibile di abilità e che quindi sia possibile, attraverso gli sforzi personali, farla aumentare in modo incrementale, è l'imperativo pedagogico del XXI secolo.

Considerare la possibilità che l'intelligenza assuma un valore variabile, capace di aumentare in modo incrementale, corrisponde a riconoscere la possibilità e la *volontà* di investire energie per imparare qualcosa di nuovo o per aumentare il proprio livello di comprensione e padronanza del compito.

Gli obiettivi d'apprendimento andranno in tal caso associati all'opposta inferenza che sforzo e abilità sono positivamente correlati, per cui uno sforzo maggiore darà origine e renderà più evidente una maggiore abilità.

Lo sforzo continuo è dunque la chiave per sbloccare il proprio potenziale d'apprendimento.

Allora l'intelligenza può essere insegnata.

In tempi non sospetti Arthur Whimbey e colleghi (1975) ci hanno spinto a riconsiderare le nostre idee fondamentali sull'intelligenza e a mettere in questione l'assunto secondo il quale le capacità geneticamente ereditate siano immutabili.

I due autori offrono evidenze del fatto che certi interventi possano effettivamente favorire il funzionamento cognitivo degli studenti, dal livello prescolare fino all'età adulta, dimostrando in breve la possibilità di fare dell'intelligenza un oggetto d'insegnamento.

Istruendo al problem solving, alla metacognizione e al pensiero strategico, gli studenti del loro gruppo di ricerca mostrarono non solo un aumento dei punteggi di quoziente intellettivo, ma anche approcci più efficaci al lavoro scolastico.

Tuttavia i partecipanti allo studio smettevano di utilizzare le tecniche cognitive proposte, non appena le specifiche condizioni del training venivano rimosse. Non emergeva, insomma, la generalizzabilità delle strategie acquisite (le strategie insegnate non raggiungevano il desiderato livello di *abitudine mentale*), né alcuna forma di ritenzione mnemonica di quanto appreso in termini funzionali (gli studenti non erano in grado di giudicare per conto proprio quando sarebbe stato utile rimettere in uso tali strategie di nuova acquisizione: Resnick & Hall, 1998).

Per accogliere i nuovi apprendimenti, il cervello deve generare più connessioni sinaptiche tra le sue cellule. A tal proposito è emerso come i punteggi di Q.I. tendano ad aumentare negli anni (cfr. Kotulak, 1997). Questi incrementi sono un'ulteriore conferma del fatto che, invece di essere fissa e immutabile, l'intelligenza sia flessibile e soggetta a grandi cambiamenti, *sia verso l'alto che verso il basso*, a seconda del tipo di stimolazione che il cervello riceve dal suo ambiente.

Questo significa, e Feuerstein come vedremo ce lo ha insegnato bene, che ciascuno di noi è simultaneamente "dotato" e "ritardato" (cfr. Feuerstein et al., 1980).

3. Dall'assessment statico all'assessment dinamico

L'intelligenza o "comportamento adattivo" è connessa alla modificabilità e alla plasticità cognitiva, che trova un solido fondamento neuroscientifico nella plasticità ecologica del cervello. In tal senso, le strutture cognitive sono anche strutture neurofisiologiche.

Secondo una concezione classica (ormai superata) dell'intelligenza, il quoziente intellettivo (QI) corrisponderebbe alla rilevazione delle abilità attuali di un soggetto a confronto con la popolazione d'appartenenza. Si assume perciò non solo che ogni individuo impari allo stesso modo, ma anche che tutti gli individui siano diversi e abbiano abilità d'apprendimento diverse.

I test standard sull'abilità cognitiva generalmente misurano i prodotti degli apprendimenti precedenti e quindi fanno pesantemente affidamento sull'assunto che tutti gli esaminati abbiano avuto opportunità paragonabili di acquisire le abilità che saranno misurate.

Tradizionalmente, le misure dell'intelligenza generale ottenute attraverso il testing identificano il rapporto tra età mentale ed età cronologica, oppure un punteggio di deviazione rispetto alla performance attesa per una determinata fascia d'età.

Queste misure sono dette procedure di assessment statico e mettono in primo piano le conoscenze acquisite in precedenza, in termini di valore di quoziente intellettivo o di punteggi di profitto; esse non contemplanو modificazioni che puntino a livelli crescenti di performance nelle loro procedure.

Nell'approccio psicometrico, l'accento è posto su aggregati di dati relativi alla performance, mentre i "picchi" e i "crolli" nella performance sono ripartiti in modo proporzionale nel punteggio generale.

Nell'assessment dinamico, al contrario, i picchi nella performance sono equiparati a indicatori del potenziale di sviluppo cognitivo dell'esaminato, e non a errori di misura⁵.

Gli indicatori dinamici sono strumenti particolarmente utili per misurare un concetto d'intelligenza più vicino a una sua definizione come *la propensione dell'individuo ad andare incontro a cambiamenti in direzione di livelli superiori di adattabilità, modificabilità o cambiamento, a seguito dell'adattamento cerebrale* (Detterman & Sternberg, 1982; Tzuriel, 1997; Tzuriel & Kaufman, 1999).

Anche se le ricerche in merito sono ancora in fase embrionale, sembra proprio che l'educazione possa agevolare lo sviluppo di una *riserva cognitiva*.

L'apprendimento e altre forme di performance intellettuale sono dinamici per natura e quindi un approccio statico all'assessment che enfatizzi i prodotti piuttosto che i processi non potrà mai rendere giustizia alla valutazione o alla modificazione dell'intelligenza umana.

L'intelligenza, in base ai lavori neuropsicologici di Luria (1966, 1973) è meglio concepibile come una serie di processi cognitivi dinamici, piuttosto che come abilità fisse e statiche.

Luria, proprio come Feuerstein e i suoi colleghi (1979), considera infatti il cervello come un *sistema autoplastico*, in grado di cambiare e di adattarsi all'ambiente.

5 Sono due le caratteristiche fondamentali dell'assessment dinamico: determinare il potenziale di cambiamento dello studente quando viene assistito, ed offrire una misura in prospettiva futura sul cambiamento della performance, indipendente da un qualunque aiuto esterno.

Dal punto di vista educativo, è la plasticità o “modificabilità” dell’intelligenza ad essere sia l’elemento più importante, sia quello che richiede ulteriori spiegazioni.

La modificabilità dell’intelligenza psicometrica può essere definita come tutti quei fattori responsabili delle *fluttuazioni* verso l’alto e verso il basso di un punteggio osservato ad un test per il quoziente intellettivo, intorno al punteggio “reale” di quell’individuo.

Come fanno notare i fisici (ad es. Heisenberg, 1958), un buon modo di intendere la natura degli eventi consiste nel cambiare gli eventi stessi⁶.

I risultati di ricerca indicano chiaramente che i punteggi di QI vanno soggetti a cambiamenti (Grigorenko & Sternberg, 1998) e che questi cambiamenti sono solitamente connessi alle opportunità educative offerte.

Bereiter (1962) sostiene che la sola valutazione ragionevole di una pratica educativa misurerà tratti modificabili, un’idea sembra avere origine in Vygotsky (1934/1962, 1930/1978).

In netto contrasto con gli approcci più orientati al prodotto, tipici della valutazione psicometrica classica ed edumetrica, l’assessment dinamico – individuale o di gruppo – rappresenta la prima fase nel collocare e riconoscere le difficoltà manifestate dallo studente (Craig, 1991; Gupta & Coxhead, 1988; Resing, 1993). È, infatti, un modo per valutare il potenziale nascosto o la capacità di riserva individuale secondo una metodologia diagnostica fluida, orientata al processo, flessibile e impegnativa.

4. La rivoluzione educativa del metodo Feuerstein: la teoria della modificabilità cognitiva

Oggi è scientificamente accettato che il miglioramento cognitivo aiuti gli esseri umani a superare le loro carenze e ad avanzare nel loro sviluppo, consentendo loro di rispondere in modo efficace alle sfide dell’esistenza.

Il lavoro di Feuerstein degli ultimi 60 anni ha dimostrato che la ferma convinzione nella modificabilità umana contribuisce al miglioramento del potenziale umano e della condizione umana in generale e che può restituire a individui e intere comunità un funzionamento produttivo e contributivo, in grado di influenzare la produzione del potenziale di cambiamento sociale.

Allievo di Piaget (dal quale recupera l’idea di *assimilazione della modificabilità*: cfr. Piaget, 1950, 1972), Reuven Feuerstein sostiene l’idea che la cognizione sia una variabile, e che quindi l’intelligenza sia modificabile, a partire da qualsiasi condizione e a qualunque età.

Ne consegue che un adeguato intervento educativo potrà produrre cambiamenti strutturali o nello stato dell’organismo, prodotti da un deliberato programma d’intervento che facilita la produzione di una crescita continua, rendendo l’organismo ricettivo e sensibile alle fonti interne ed esterne di stimolazione (Feuerstein, 1980). Ciò trova applicazione non solo sui bambini di età scolare, ma anche sugli adolescenti e sulle loro scelte di carriera, sugli adulti che contribuisco-

6 Prima di poter osservare le azioni degli atomi direttamente come possiamo fare oggi, era possibile inferirne la natura e le modalità d’azione attraverso la creazione di condizioni in cui ci si aspettava che sarebbero cambiati, per poi osservare gli effetti di questi presunti cambiamenti su altre variabili, più direttamente osservabili.

no all'economia attraverso l'uso che fanno delle loro abilità in ambito lavorativo, e agli anziani che intendono mantenere le loro abilità esistenti e impararne di nuove per contrastare gli effetti del declino.

La teoria di Feuerstein della modificabilità cognitiva strutturale (Feuerstein et al., 2003) rappresenta un approccio olistico ai problemi legati a bassi livelli di performance cognitiva, un processo attivo e globale che include l'intera gamma delle funzioni cognitive e non, legate al pensiero e alla personalità. Con essa l'autore intende spiegare lo sviluppo differenziale delle abilità cognitive in individui diversi, ma biologicamente simili, proponendo un modello alternativo sul modo stesso di verificarsi dell'apprendimento.

Per le dinamiche della sua teoria-intervento, Feuerstein trae ispirazione anche dalla psicologia sociale e dalle tematiche più costruttiviste, in cui il pensiero del primissimo Piaget si sovrappone a quello di Vygotsky. Anzitutto, espande il modello piagetiano (S-O-R) fino ad includere un essere umano, solitamente un genitore adulto, che frappone se stesso due volte, prima tra l'organismo (il bambino) e lo stimolo, e poi di nuovo tra l'organismo (il bambino) e la risposta.

Da Vygotsky (1930/1978), invece, attinge ai concetti di mediazione come "motore" che guida lo sviluppo e di "zona di sviluppo prossimale", rappresentata dalla distanza tra il livello evolutivo attuale, determinato dal problem solving indipendente e il livello del potenziale determinato attraverso il problem solving "mediato".

La prospettiva di Feuerstein (2000) promuove, in particolare l'idea originale di Vygotsky riguardo la nostra abilità di misurare il potenziale d'apprendimento latente.

Il suo metodo consente di attingere a risorse cognitive inesprese o *potenziali*, attraverso lo strumento della mediazione, principale responsabile della modificabilità cognitiva.

Imparare ad imparare – o nei termini di Feuerstein, la modificabilità cognitiva – è una funzione diretta di quella che viene definita *esperienza d'apprendimento mediato*, intesa come quella componente psicologica della trasmissione culturale, il cui compito all'interno di una specifica cultura è quello di dotare gli individui della *plasticità cognitiva*.

Secondo il principio della neuroplasticità cerebrale, a cui Feuerstein si ispira, le connessioni neurali e la sinaptogenesi vengono continuamente rimodellate dall'esperienza e ambienti ricchi possono innescare la codifica di proteine in grado di modificare la capacità stessa di apprendere, un fenomeno che permane per tutta la vita (Lovden et al., 2010). Come gli atleti hanno bisogno di allenare i loro muscoli, così ci sono molte abilità cognitive che necessitano di training perché i cambiamenti cerebrali si mantengano.

Feuerstein e colleghi (1981) definiscono le esperienze di apprendimento mediato come il passaggio delle strutture cognitive generali da un individuo esperto ad un individuo inesperto meno capace. La funzione del mediatore è quella di osservare il modo in cui colui che apprende affronta la soluzione del problema. Il problema dato è quindi un espediente che consente al mediatore di osservare il processo di pensiero del soggetto che sta imparando.

Scopo ultimo dell'apprendimento mediato è lo sviluppo dei requisiti cognitivi indispensabili per l'apprendimento diretto⁷.

7 L'applicazione pratica dei principi teorici sviluppati da Feuerstein e dalla sua équipe fa uso di un insieme articolato e organico di strumenti, riconducibili a due sistemi prin-

Poiché la valutazione del potenziale richiede un'esplorazione costante per riuscire a raggiungere quelle aree che risultano "nascoste" nella performance manifesta dell'individuo, una risposta inaspettata di alta qualità segnerà la presenza di una riserva di capacità di elaborazione inutilizzata ma disponibile, che può servire da punto di partenza per ulteriori indagini.

Se quindi nel modello psicometrico classico le risposte occasionali di livello estremo sono considerate fluttuazioni casuali, Feuerstein considera invece i valori estremi presenti nei dati come un'informazione diagnostica sui potenziali punti di forza e di debolezza del funzionamento cognitivo.

Il programma di Feuerstein, in breve, promuove negli insegnanti la coltivazione fertile e prosperosa di veri pensatori critici, trovando la sua più adeguata applicazione in tutte quelle situazioni in cui vi sia come finalità l'adattabilità e la flessibilità della persona⁸.

Reuven Feuerstein, lavorando con bambini svantaggiati, ha sfidato la nozione prevalente di intelligenza come entità fissa con la sua teoria della modificabilità cognitiva, considerando l'intelligenza piuttosto come una funzione dell'esperienza e della mediazione da parte di individui significativi (genitori, insegnanti, figure d'accudimento, pari) presenti nel proprio ambiente di riferimento.

Questa moderna teoria propone un'idea tutta nuova di intelligenza come *entità modificabile*, sostenendo la possibilità di insegnare l'intelligenza e che l'essere umano possa continuare a migliorare il proprio funzionamento cognitivo fino alla fine dei suoi giorni.

Feuerstein non è solo. A sostenere questa stessa idea che l'intelligenza possa essere insegnata e appresa sono, tra gli altri, anche David Perkins (1995), promulgatore della teoria della *learnable intelligence*, e Umberto Margiotta (2011), che identifica nella modificabilità cognitiva un potente strumento di empowerment e definizione dell'identità.

Con loro altri studiosi di ambito pedagogico adottano oggi un modello mentale che considera l'intelligenza come una serie di comportamenti che possono essere insegnati e appresi, e secondo il quale tutti gli esseri umani possono continuare a svilupparsi e migliorarsi per tutto il corso della loro vita.

È evidente quanto strettamente i fondamenti logici del metodo Feuerstein si allineino non solo con la ricerca neuroscientifica, ma addirittura con le leggi della fisica, la scienza dura per eccellenza.

5. La meccanica dell'intelligenza

Feuerstein definisce l'intelligenza come una forza che guida l'organismo a cambiare se stesso e che cambia la struttura del pensiero e delle reazioni per rispondere ai bisogni che le si manifestano davanti e che cambiano davanti ai suoi oc-

cipali: il LPAD (Learning Propensity Assessment Device), la componente che valuta la modificabilità dell'individuo, e che precede l'implementazione del PAS (Programma di Arricchimento Strumentale) per lo sviluppo assistito di specifiche funzioni cognitive comuni a qualunque area di contenuto (Feuerstein et al., 2008).

8 Effetti migliorativi sono emersi per lettura (cfr. Brainin, 1983; Muttart, 1984; Samuels & Conte, 1986) matematica (cfr. Walker & Meier, 1983; Link, 1985), problem solving (cfr. Markus & Meadows, 1988), abilità generale, concetto di sé e affettività (cfr. Pendlebury, 1985; Rothan, 1989).

chi. È un agente dinamico dotato di energia, instabile e che risponde al bisogno dell'individuo di modificarsi per potersi adattare alle situazioni e affrontarle con successo.

Le neuroscienze offrono evidenza empirica non solo della modificabilità delle funzioni mentali individuali, non solo del cambiamento della struttura del comportamento e dei processi mentali, ma soprattutto della effettiva relazione di questi cambiamenti con il *cambiamento fisico strutturale e funzionale del sistema nervoso*.

A questo punto, attingendo all'interesse che da sempre nutro per la Fisica, possiamo sfruttare la fisica meccanica per provare a definire un modello d'intelligenza che tenga conto tanto della posizione psicometrica, quanto della teoria di Feuerstein.

Considerando l'intelligenza una quantità misurabile dotata di un carattere dinamico, possiamo attribuirle un movimento, nello specifico un *moto* oscillatorio, poiché determina un andamento periodico per il suo modo di ripetersi nel tempo.

In questo tipo di movimento, al crescere di t il corpo di massa m si sposta dal punto O verso un punto a destra, sino a raggiungere la massima distanza $+C$; a questo punto il corpo inizia un moto di ritorno (negativo), passa per il punto O e prosegue sino a raggiungere la massima distanza $-C$; il corpo ora inizia il moto nel verso iniziale (positivo), sino a tornare alla distanza $+C$, come mostra la figura seguente:

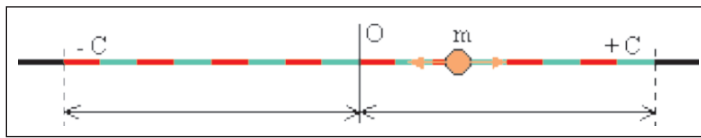


Figura 1: Modello fisico del moto oscillatorio

Il moto oscillatorio è descritto da tre grandezze: 1) l'Ampiezza (ossia la grandezza dello spostamento da $+C$ a $-C$); 2) la Pulsazione (ossia la rapidità di oscillazione); 3) la Fase o *Costante di fase* (che stabilisce la posizione iniziale). Ampiezza e fase iniziale sono costanti e dipendono dai dati iniziali, definiti all'istante $t = 0$. Le oscillazioni avvengono in maniera simmetrica attorno alla posizione di equilibrio. La grandezza interessata al moto – nel nostro caso l'intelligenza – è quindi rappresentata in funzione del *tempo*.

L'origine è l'unico punto di equilibrio e tale equilibrio è un centro, assimilabile al punteggio statico ponderato di quoziente intellettivo, ottenibile con i test standardizzati di uso comune in psicologia.

L'ampiezza (da $-C$ a $+C$ e viceversa), di nostro particolare interesse, è la distanza massima di spostamento del corpo dalla sua posizione di equilibrio e indica la differenza tra il valore massimo e il valore minimo raggiungibile dalla grandezza.

Nel nostro caso, la differenza tra punteggio massimo e punteggio minimo ottenuto ad un test d'intelligenza definisce il potenziale d'apprendimento, poiché rappresenta la massima distanza che il valore dell'intelligenza può assumere, rispetto alla definizione statica di quoziente intellettivo.

Poiché il concetto di potenziale, in sé, non contempla una valutazione in senso positivo o negativo, possiamo riconcettualizzare l'intelligenza come una grandezza dinamica dotata di un'ampiezza che può spostarsi da un valore minimo $-C$, che è il potenziale minimo e che io definisco *zona di involuzione prossima-*

le, a un valore massimo $+C$ che Vygotsky e Feuerstein definiscono come potenziale massimo d'apprendimento o *zona di sviluppo prossimale*.

Passando all'esperienza di tipo mediato, anche in questo caso ritengo che le analogie con la fisica meccanica sono interessanti.

Quando spingiamo un bambino sull'altalena, in determinate condizioni osserveremo una progressiva amplificazione delle oscillazioni. Ciò avviene quando le spinte arrivano al momento giusto, fornendo energia al sistema oscillante invece di toglierla.

Quando ciò avviene si parla di *risonanza*. Dal momento che ogni sistema fisico è caratterizzato da una caratteristica frequenza di risonanza, affinché ci sia risonanza la pulsazione della forza esterna dovrà essere uguale a quella che il sistema avrebbe in assenza di quest'ultima.

In condizioni di risonanza, è possibile raggiungere sollecitazioni tali da perturbare la struttura del sistema oscillante. In tal caso parleremo di *cambiamenti strutturali*.

Analogamente, se all'intelligenza imponiamo una forza esterna di tipo impulsivo e con un periodo ben preciso che ne disciplini il movimento, il moto oscillatorio diventerà "forzato".

Consideriamo un termine forzante (un mediatore) e un oscillatore armonico forzato (l'intelligenza che subisce le sollecitazioni dell'esperienza di apprendimento mediato): il mediatore esterno che imprime la "spinta" al sistema cognitivo del soggetto mediato non fa altro che entrare in risonanza con quest'ultimo, condizione indispensabile perché l'esperienza sia di vero apprendimento mediato e di autentica modificazione cognitiva strutturale.

Anche in questo caso, il ritmo dell'esperienza mediata dovrà corrispondere a quello che il soggetto mediato avrebbe se fosse in grado di auto-mediarsi (riprendendo l'analogia con l'altalena, se fosse in grado di darsi la giusta spinta da solo).

Nel caso di due pendoli, si dice che uno fa risuonare l'altro alla propria risonanza, un po' come avviene quando il mediatore trasferisce le sue competenze cognitive sul soggetto mediato.

Nel moto del pendolo semplice, quando lo spostamento è massimo, l'energia del sistema è totalmente energia potenziale. Ugualmente, quando lo spostamento dell'intelligenza raggiunge il suo picco massimo, Feuerstein parla di potenziale d'apprendimento.

In termini fisici, possiamo quindi affermare che il metodo Feuerstein mira allo spostamento della fase iniziale in senso positivo (ossia in avanti: $+C$), attraverso l'imposizione di oscillazioni forzate che determinano una diminuzione dell'ampiezza di oscillazione.

Nell'oscillatore forzato, infatti, a cambiare è il *punto di equilibrio* (corrispondente al valore statico di QI) rispetto al quale avvengono le oscillazioni.

Dato che il Programma di Arricchimento Strumentale di Feuerstein (1980) deriva dalla sua teoria implicita sulla natura dell'intelligenza, a questo punto possiamo definire con maggiore chiarezza il rapporto esistente tra il metodo Feuerstein e la misura dell'intelligenza che esso propone.

In definitiva, il Programma di Arricchimento Strumentale di Feuerstein:

- a) consente di spostare in avanti la fase iniziale ($+C$), dando al valore di QI statico un nuovo punto di equilibrio (0);
- b) fa diminuire l'ampiezza di oscillazione del potenziale d'apprendimento, impedendo che la performance cognitiva raggiunga valori troppo bassi ($\beta-C$).

Ad uno spostamento in avanti della fase (corrispondente all'intelligenza cristallizzata) si associa, infatti, una diminuzione dell'ampiezza di oscillazione del potenziale d'apprendimento (corrispondente all'intelligenza fluida)⁹.

Il metodo Feuerstein, in definitiva, imprimendo all'intelligenza (una grandezza dinamica dotata di moto oscillatorio semplice) un elemento esterno forzante (il mediatore), determina un cambiamento della sua condizione iniziale o "cambiamento di fase" che le consente di far raggiungere il massimo potenziale d'apprendimento possibile per il sistema mediato (il soggetto che apprende).

6. La formula dell'intelligenza: massimizzare la libertà d'azione

Descrivere l'intelligenza come una *forza fisica* che massimizza la libertà futura d'azione aggiunge un nuovo aspetto all'intelligenza, troppo spesso dimenticato: a livello collettivo, l'intelligenza ha il potere di cambiare il mondo.

I sistemi intelligenti sono dispositivi di sopravvivenza che aumentano le loro possibilità di sopravvivenza massimizzando una sola ed unica quantità: la libertà d'azione.

Nel 2013 i fisici Alex Wissner-Gross e Cameron E. Freer hanno proposto un'interessante nuova equazione che riassume tutto ciò che abbiamo sostenuto fino ad ora.

È un'equazione fisica molto semplice, che tuttavia può guidarci a prendere decisioni e che rende i nostri comportamenti intelligenti, secondo la nuova concezione incrementale dell'intelligenza, promossa da Feuerstein in avanti, *misurabili* e *osservabili*, aggiungendo una nuova forza fisica reale al mondo, la forza dell'intelligenza:

$$F = T \nabla S$$

dove F è la forza, T è la temperatura del sistema, S è il tasso di entropia di tutti gli stati raggiungibile nell'orizzonte di tempo (τ). Infine, il simbolo ∇ è detto operatore Nabla calcola la direzione della forza e corrisponde all'operatore gradiente che "punta" nella direzione dello stato dotato della massima libertà d'azione¹⁰.

Ciò significa che S corrisponde a puntare in una direzione con la massima libertà d'azione. Infine la moltiplicazione con T indica che quanto maggiore è il nostro potere di azione, tanto maggiore potrà essere la forza dell'intelligenza.

Non è un caso che l'equazione dell'intelligenza sia molto simile alla formula dell'*energia potenziale* $F = -\nabla W_{\text{pot}}$, dove W_{pot} è l'energia potenziale in ogni punto dello spazio. Si tratta dell'energia posseduta da un oggetto, a causa della sua posizione o del suo orientamento rispetto ad un campo di forze.

La forza F spinge in direzione di una minore energia, ecco perché la forza di

9 Gli interventi che sfruttano il metodo Feuerstein appaiono in grado di influenzare prima di tutto l'intelligenza fluida (e quindi la memoria di lavoro) e i processi di assimilazione, e solo in un secondo momento l'intelligenza cristallizzata e i processi di accomodamento (cfr. Cattell, 1971).

10 Il termine Nabla deriva dal nome di uno strumento musicale a corda della tradizione ebraica europea, il nebel, simile a un'arpa, ovvero simile a una viola o ad un violino ma avente una cassa acustica di profilo triangolare, che richiama appunto quella di un delta rovesciato.

gravità ci spinge nella direzione del centro della terra. È la direzione che una palla prenderebbe se la si lasciasse rotolare a cominciare da quel punto. La *forza* di questa forza sarà determinata da quanto è ripido il pendio: ad una ripidità maggiore corrisponderà una forza maggiore.

Proprio come una palla viene spinta verso il basso dalla forza gravitazionale per raggiungere lo stato di minima energia, così i sistemi intelligenti vengono spinti dalla forza dell'intelligenza in un futuro dotato del minimo possibile di limitazioni alla volontà personale.

Tornando all'equazione dell'intelligenza, quello che ci dice è che l'intelligenza è una *forza diretta* F , che spinge nella direzione di uno stato di maggiore libertà d'azione. T è un tipo di temperatura che definisce la forza complessiva (ossia le risorse disponibili) posseduta dal sistema intelligente (il calore, infatti, produce lavoro, proprio come accade ad un motore a vapore: ad un aumento di calore corrisponde un aumento di forza). Infine S è la "libertà d'azione" di ciascuno stato che può essere raggiunto dall'intelligenza, entro un orizzonte temporale (τ). L'orizzonte temporale corrisponde a quanto può spingersi lontano l'intelligenza nella sua capacità predittiva del futuro.

Wissner-Gross e Freer (2013), a tal proposito, utilizzano la nozione di *entropia* S , per esprimere la *libertà d'azione* nel futuro. La forza dell'intelligenza punta proprio in quella direzione.

Proprio come molte altre leggi o equazioni fisiche, l'idea di base è semplice. L'intelligenza è:

- una forza che mantiene aperte varie opzioni di scelta;
- una forza che non ama essere intrappolata.

L'intelligenza deve poter prevedere il futuro e cambiare il mondo in una direzione che conduca il sistema individuo al "migliore futuro possibile".

Per poter prevedere il futuro, un sistema intelligente dovrà osservare il mondo e creare un modello dello stesso. Poiché il futuro non è deterministico, la previsione sarà necessariamente basata su alcune *euristiche*.

Migliore sarà la previsione del futuro, migliore sarà il cambiamento che potremo effettuare sul mondo nella direzione desiderata, maggiore sarà l'intelligenza attribuibile al sistema.

In quanto sistemi intelligenti, noi desideriamo assicurarci il migliore futuro possibile, che corrisponde ad un futuro in cui non ci si senta in trappola.

Per arrivarci, cerchiamo di prevedere i futuri possibili, adattando l'orizzonte temporale della nostra previsione, in modo da renderla abbastanza affidabile da poter prendere una decisione.

A questo punto passiamo in rassegna tutti gli stati possibili, assegnando un valore di libertà d'azione (S) a ciascuno di essi.

In questa mappa di stati possiamo scegliere lo stato che possiede il più alto potenziale per le azioni future, lo stato che ci conferisce la massima libertà e il massimo potere personale. Ciò richiede di possedere un modello del funzionamento del mondo, nonché la capacità di determinare lo stato attuale del sistema, per scegliere in che direzione muoversi.

Se lo stato a cui aspiriamo non è raggiungibile se non sforzandosi, allora dovremo imporre una forza F sul mondo in quella direzione. È questa la *forza dell'intelligenza*.

La temperatura T rappresenta il potere o le "risorse" in nostro possesso per raggiungere lo stato desiderato. Più potere abbiamo, maggiore sarà la forza che potremo imporre.

Spostandoci nel tempo e nello spazio, dobbiamo costantemente convalidare lo stato desiderato e adeguare di conseguenza la direzione in cui ci muoviamo. Questo adattamento o adeguamento è necessario, perché il nostro modello del futuro è solo una previsione vaga e, nell'andare avanti, i nostri modelli interni del mondo devono essere costantemente aggiornati in base ai dati di realtà.

6.1. Considerazioni sulla forza fisica dell'intelligenza

La forza dell'intelligenza è dunque *una forza fisica reale* e in quanto tale è anche osservabile. Chiunque legga il mio saggio, sullo schermo di un computer o in formato cartaceo, sa che le singole lettere dell'alfabeto da me trascritte sono in un ordine che non esisterebbe se un'intelligenza non avesse imposto una forza sul mondo fisico. L'intelligenza, infatti, influenza direttamente il mondo, nelle piccole e nelle grandi cose.

Oggi siamo finalmente in grado di descrivere l'intelligenza come una forza che modifica il mondo fisico, tuttavia la componente più problematica della formula dell'intelligenza sta nel determinare il livello di entropia o "disordine" del sistema (S) e la temperatura T accessibile al sistema intelligente.

Si potrebbe sostenere che questa equazione sia inutile, non essendo ancora ben definita, tuttavia occorre ragionare in termini di approssimazione.

Dobbiamo ammettere che l'intelligenza non può conoscere tutti i possibili stati futuri, né l'effettiva libertà d'azione di ciascuno stato.

Occorre ugualmente sottolineare le interessanti implicazioni educative di questa formula: intanto l'intelligenza necessita di un modello dinamico del mondo.

Per poter stimare la quantità (in termini di praticabilità, ossia di possibilità d'azione) degli stati futuri, il sistema intelligente ha bisogno di un modello del mondo, da utilizzare per simulare gli stati futuri e stimare i rischi, i costi e la libertà d'azione per ciascuno di questi stati.

Questo significa anche che, poiché l'intelligenza si muove in una certa direzione nello spazio di scelta, essa deve ri-valutare gli stati futuri e correggere le previsioni e la direzione.

Il nostro cervello è lo strumento di cui disponiamo per poter fare previsioni (attraverso le associazioni), correggerle e direzionarle.

L'intelligenza, poi, deve poter massimizzare la "temperatura" T nell'equazione per aumentare la sua forza (l'impatto per cambiare lo stato del mondo).

Quando gli esseri umani hanno imparato a utilizzare l'energia (come il fuoco) e a trasformarla in forze fisiche (come nel motore a vapore), essi hanno aumentato la loro influenza sul mondo. Osservare gli stati futuri quindi non basta: l'intelligenza per esprimersi ha bisogno di avere il potere di trasformare la conoscenza dello stato futuro desiderato in una forza propulsiva che spinga nella direzione giusta.

Il potere necessario per raggiungere lo stato desiderato è una risorsa che deve essere sempre tenuta in considerazione quando cerchiamo di prevedere la libertà d'azione nel nostro futuro.

6.2. Allora cos'è un sistema intelligente?

È intelligente qualunque sistema che sia in grado di creare una forza nella direzione di una maggiore libertà di agire.

La migliore delle idee, se non può essere attualizzata, non è intelligente. I classici test di quoziente intellettivo misurano solamente la previsione del futuro, ma non misurano l'altra componente dell'intelligenza, ossia il potere d'azione.

A volte sistemi semplici ma molto forti regolano il mondo e i sistemi "intelligenti" soccombono perché non sono in grado di agire.

Non avere alcuna libertà d'azione è una condizione mortifera. La libertà futura d'azione indica sostanzialmente un aumento della probabilità di sopravvivenza del sistema intelligente.

Il metodo Feuerstein è una tecnica che dimostra come sia possibile aumentare la forza dell'intelligenza attraverso due passaggi:

fare previsioni migliori del futuro, il che significa poter identificare gli stati di massima libertà d'azione (fase di assessment dinamico);

aumentare il potere di spostamento verso la direzione desiderata, aggiungendo più energia o trovando percorsi che richiedano minori risorse (fase di arricchimento strumentale), massimizzando le probabilità di sopravvivenza.

La formula $F = T \nabla S$ spiega il modo in cui l'intelligenza applica al mondo forze che massimizzano la sua futura libertà d'azione.

Riuscire a comprenderla e ad applicarla ci consentirà di agire in modo più intelligente.

Questo significa che potremo porci in una condizione migliore per il futuro, trovando la chiave giusta per agire intelligentemente come individui, famiglie, comunità, compagnie, Paesi, nazioni e genere umano.

Conclusioni

Una nuova cultura pedagogica, appellandosi ai nuovi metodi di arricchimento cognitivo, alle neuroscienze dell'educazione e incredibilmente alle leggi della fisica, enfatizza oggi come i risultati accademici e il pensiero critico debbano costituire due esiti irrinunciabili dell'apprendimento, per qualunque fascia d'età.

La struttura e la chimica cerebrale del bambino cambiano quotidianamente. Ambiente ed esperienze in classe e fuori dall'aula mostrano un impatto profondo su questi cambiamenti.

Il modello *Mind, Brain and Education* (MBE) proposto da Kurt Fischer e colleghi dell'Università di Harvard (2009), mira a insegnare ai bambini a prendere decisioni in modo sistematico, intenzionale e sequenziale, ossia ad essere pensatori critici. Gli strumenti educativi d'elezione per implementare questo modello sono stati categorizzati in quattro aree:

- strategie didattiche in grado di aumentare la capacità del cervello di apprendere e di cambiare lo stato emotivo dei discenti;
- ambienti mediati/arricchiti, che incoraggiano condizioni ottimali per l'apprendimento a scuola, a casa e nella comunità d'appartenenza;
- correzione dei deficit/miglioramento cognitivo, che edificano le fondamenta del pensiero critico;
- strumenti di valutazione (si pensi all'assessment dinamico di Feuerstein), che offrono un feedback a studenti, insegnanti e membri della comunità.

Emerge chiaramente come il metodo Feuerstein rappresenti, in tutto e per tutto, un modello MBE, ossia un modello operativo di collegamento tra mente, cervello ed educazione.

Per applicare il modello MBE, gli adulti presenti nella vita del bambino devono comprendere che i sistemi cerebrali responsabili del controllo degli impulsi, del pensiero critico e di altre funzioni di autoregolazione non maturano prima dei 24 anni di età. Inoltre, è necessario che gli strumenti didattici del XXI secolo siano multidimensionali, piuttosto che unidimensionali.

Se un tempo la preparazione implicava l'addestramento delle persone per lavori specifici, per acquisire una competenza specifica per fare quel determinato lavoro (il *cosa* dell'apprendimento), oggi la preparazione deve offrire agli studenti strumenti che consentano loro di porsi domande e darsi risposte anche in merito al *come* e al *perché*, in modo che possano proporsi anche in caso di lavori completamente nuovi o che presentino problematiche ancora in attesa di ricevere una risposta convincente.

Sappiamo che le evidenze scientifiche stanno cambiando radicalmente le nostre convinzioni comuni sullo sviluppo umano, a sostegno dell'idea che interventi sempre più mirati, tempestivi e precoci possano cambiare il cervello a qualunque età.

Il viaggio verso l'uso delle neuroscienze come fondamento dell'apprendimento è appena iniziato e si offre in un periodo storico fatto di dubbi e incertezze. Mai come ora l'analisi critica, il problem solving, il pensiero creativo e la collaborazione si configurano come capacità essenziali non solo per mantenersi competitivi nell'economia globale, ma addirittura per poter sopravvivere senza essere fagocitati dagli eventi.

Se non riusciamo a comprendere il pensiero creativo, allora non possiamo sperare di avere un sistema educativo che produca individui creativi. Una società che comprende la natura della creatività sarà in grado di promuoverla anche in classe (Root-Bernstein, R.S. & Root-Bernstein, M.M., 2001).

Si avverte il bisogno di un nuovo tipo di educazione sintetica, trans-disciplinare, pionieristica, che non richieda un cambiamento in ciò che viene insegnato, ma piuttosto nel modo di insegnare, il cui scopo sia quello di *produrre generalizzazioni immaginative che possano guidarci verso il migliore futuro possibile*.

Riferimenti bibliografici

- Bereiter, C. (1962). Using tests to measure change. *Personnel and Guidance Journal*, 41, 6-11.
- Brainin, J. B. (1983). The effects of instrumental enrichment on the reasoning abilities, reading achievement and task orientation of 6th grade under-achievers. *Dissertation Abstracts International*, 43, 1405.
- Bullmore, E., & Sporns, O. (2009). Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 186-198.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Boston, MA: Houghton Mifflin.
- Cohen, J. D., Forman, S. D., Braver, T. S., Casey, B. J., Servan-Schreiber, D., & Noll, D. C. (1994). Activation of prefrontal cortex in a nonspatial working memory task with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 1, 293-304.
- Craig, A. (1991). Adult cognition and tertiary studies. *South African Journal of Higher Education*, 5, 137-144.
- Darwin, C. (1874). *The Descent of Man* (2nd ed.). London, UK: J. Murray.
- Detterman, D. K., & Sternberg, R. J. (Eds.). (1982). *How and how much can intelligence be increased?*. Norwood, NJ: Ablex.
- Diamond, M.C. (2001). Enrichment response of the brain. *Encyclopedia of Neuroscience* (3rd. ed.). London, UK: Elsevier Science.

- Feuerstein, R. (1980). *Instrumental enrichment: An intervention program for cognitive modifiability*. Baltimore, MD: University Park.
- Feuerstein, R. S. (2000). Dynamic cognitive assessment and the instrumental enrichment program: Origins and development. In A. Kozulin & R. Yaacov (Eds.), *Experience of mediated teaming: An impact of Feuerstein's theory in education and psychology. Advances in learning and instruction series* (pp. 147-165). Elmsford, NY: Pergamon Press.
- Feuerstein, R., Falik, L., Rand, Y., & Rafi, S. (2003). *Feuerstein's applied systems: A reader*. Jerusalem: ICELP Press.
- Feuerstein, R., Feuerstein, R., Falik, L., & Rand, Y. (2008). *Il Programma di Arricchimento Strumentale di Feuerstein Fondamenti teorici e applicazioni pratiche*. Trento: Erickson. (Original work published 2006).
- Feuerstein, R., Miller, R., Hoffman, M. B., Rand, Y., Mintzker, Y., & Jensen, M. R. (1981). Cognitive modifiability in adolescence: Cognitive structure and the effects of intervention. *Journal of Special Education, 15*, 269-287.
- Feuerstein, R., Rand, Y., Hoffman, M. B., & Miller, R. (1980). *Instrumental enrichment: An intervention program for cognitive modifiability*. Baltimore, MD: University Park.
- Feuerstein, R., Rand, Y., Hoffman, M., & Miller, R. (1979). Cognitive modifiability in retarded adolescents: Effects of instrumental enrichment. *American Journal of Mental Deficiency, 83*, 539-550.
- Fischer, K, Goswami, U., & Geake, J. (2009). The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education, 4*, 68-80.
- Grigorenko, E. L., & Sternberg, R. J. (1998). Dynamic Testing. *Psychological Bulletin, 124*, 75-111.
- Gupta, R. M., & Coxhead, P. (1988). Why assess learning potential?. In R. M. Gupta & P. Coxhead (Eds.), *Cultural diversity and learning efficiency: recent developments in assessment* (pp. 1-21). New York, NY: St Martin's Press.
- Heisenberg, W. (1958). *The physicist's conception of nature* (A. J. Pomerans, Trans.). New York, NY: Harcourt, Brace. (Original work published 1955).
- Jausovec, N. (2000). Differences in cognitive processes between gifted, creative, and average individuals while solving complex problems: An EEG study. *Intelligence, 28*, 213-237.
- Jung, R. E., & Haier, R. A. (2007). The parieto-frontal integration theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Sciences, 30*, 135-187.
- Kotulak, R. (1997). *Inside the brain: Revolutionary discoveries of how the mind works*. Kansas City, MO: Andrews McMeel.
- Link, F. (1985). Instrumental enrichment: A strategy for cognitive and academic improvement. In F. Link (Ed.), *Essays on the intellect* (pp. 89-106). Alexandria, VA: ASCD.
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin, 136*, 659-676.
- Luria, A. (1966). *Human Brain and Psychological Processes*. New York, NY: Harper & Row.
- Luria, A. (1973). *The working brain: An Introduction to Neuropsychology*. New York, NY: Basic Books.
- Margiotta, U. (A cura di) (2011). *The changing mind. From neural plasticity to cognitive modifiability*. Lecce: Pensa Multimedia.
- Markus, D., & Meadows, J. (1988). *Statistical analysis of learning how to learn program based on f.i.e.* Unpublished manuscript, Donalee Markus Ph.D & Associates, Highland Park, Ill.
- Muttart, K. (1984). Assessment of effects of instrumental enrichment cognitive training. *Special Education in Canada, 58*, 106-108.
- Pendlebury, B. (1985). Feuerstein and the i.e. curriculum. *British Journal of Special Education, 12*, 13-15.
- Perkins, D. (1995). *Outsmarting IQ: The emerging science of learnable intelligence*. New York, NY: Free Press.
- Piaget, J. (1950). *The Psychology of Intelligence*. London, UK: Routledge.
- Piaget, J. (1972). Intellectual evolution from adolescence to adulthood. *Human Development, 15*, 1-12.

- Resing, W. C. M. (1993). Measuring inductive reasoning skills: the construction of a learning potential test. In J. H. M. Hamers, K. Sijtsma, & A. J. J. M. Ruijsenaars (Eds.), *Learning Potential assessment: theoretical, methodological and practical issues* (pp. 219-242). Amsterdam: Swets & Zeitlinger.
- Resnick, L. B., & Hall, M. W. (1998). Learning organizations for sustainable education reform. *Daedalus: Journal of the American Academy of Arts and Sciences*, 127, 89-118.
- Root-Bernstein, R. S., & Root-Bernstein, M. M. (2001). *Sparks of Genius: The thirteen thinking tools of the world's most creative people*. Boston, MA: Mariner Books.
- Roth, G., & Dicke, U. (2005). Evolution of the Brain and Intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 250-257.
- Rothan, W. (1989). *Interim evaluation of the instrumental enrichment (i.e.) program*. Unpublished manuscript, Student Assessment & Research, Vancouver School Board, Vancouver, BC.
- Samuels, M. T., & Conte, R. (1986). Instrumental enrichment with learning disabled adolescents: is it effective?. *Journal of Practical Approaches to Developmental Handicap*, 11, 4-6.
- Tzuriel, D. (1997, July). *The Cognitive Modifiability Battery (CMB): Assessment and Intervention*. Paper presented at the 6th Conference of the International Association for Cognitive Education, Stellenbosch, South Africa.
- Tzuriel, D., & Kaufman, R. (1999). Mediated learning and cognitive modifiability: Dynamic assessment of Ethiopian immigrant children to Israel. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 30, 359-380.
- van den Heuvel, M. P., Stam, C. J., Kahn, R. S., & Pol, H. E. (2009). Efficiency of Functional Brain Networks and Intellectual Performance. *Journal of Neuroscience*, 29, 7619-7624.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language* (C. E. Hanfmann & F. Vakar, Eds. & Trans.). Cambridge, MA: MIT Press. (Original work published 1934).
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The development of higher mental processes* (M. Cole, Trans.). Cambridge, MA: Harvard University Press. (Original work published 1930).
- Walker, S., & Meier, J. (1983). *Instrumental enrichment program, 1982-83*. New York, NY: Office of Education Evaluation.
- Whimbey, A., Whimbey, L. S., & Shaw, L. (1975). *Intelligence can be taught*. New York, NY: Erlbaum.
- Wissner-Gross, A. D., & Freer, C. E. (2013). Causal Entropic Forces. *Physical Review Letters*, 110, 168702-1-168702-5.