



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI VERONA

DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELL'EDUCAZIONE

DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE DELL'EDUCAZIONE E DELLA FORMAZIONE CONTINUA

CICLO XX

TITOLO DELLA TESI DI DOTTORATO

Ciechi per la matematica?

Analisi delle difficoltà matematiche per la persona non vedente

S.S.D. M-PED/03 DIDATTICA E PEDAGOGIA SPECIALE

Coordinatore: Prof.ssa Anna Maria Piussi

Tutor: Prof. Franco Larocca

Dottorando: Dott. Fabio Corsi



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI VERONA

DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELL'EDUCAZIONE

DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE DELL'EDUCAZIONE E DELLA FORMAZIONE CONTINUA

CICLO XX

TITOLO DELLA TESI DI DOTTORATO

Ciechi per la matematica?

Analisi delle difficoltà matematiche per la persona non vedente

S.S.D. M-PED/03 DIDATTICA E PEDAGOGIA SPECIALE

Coordinatore: Prof.ssa Anna Maria Piussi

Firma

Anna Maria Piussi

Tutor: Prof. Franco Larocca

Firma

Franco Larocca

Dottorando: Dott. Fabio Corsi

Firma

Fabio Corsi

DATA CONSEGNA TESI

28 Febbraio 2008

Indice

| | |
|--|-----|
| Introduzione | 5 |
| Capitolo 1: Elementi Preliminari | 7 |
| Capitolo 2: La psicopatologia della Matematica | 23 |
| Capitolo 3: Matematica e Cecità | 53 |
| Capitolo 4: I Ciechi Raccontano | 77 |
| Capitolo 5: Conclusioni | 95 |
| Appendici | 101 |
| ◦ Elementi di Percettologia Aptica | 103 |
| ◦ La Persona Cieca | 151 |
| ◦ Per una possibile Bibliografia Ragionata | 159 |
| Bibliografia | 179 |
| Emerografia | 187 |
| Sitografia | 193 |
| Materiale Grigio | 195 |

Introduzione

La realtà delle persone prive della vista, e la didattica della matematica, rappresentano da sempre ambiti di estremo interesse teorico e pratico per la riflessione pedagogica.

Comunemente considerabili come settori a sé stanti, lo stimolo ad una ricerca comune deriva da molteplici esigenze educative: da una parte, la constatazione che molti adolescenti ciechi sono costretti ad evitare curricula di studi che implicino elevate quantità di materie scientifiche, perché sprovvisti dei mezzi per affrontarle; dall'altra, il fervente dibattito scientifico attorno alla didattica della matematica nelle scuole di ogni ordine e grado, rispetto ad una materia considerata tradizionalmente più problematica delle altre.

Il percorso di ricerca che qui si delinea intende andare alle origini di queste due realtà, distinte solo in apparenza, scoprendone in primo luogo i molti elementi comuni, al fine di chiedersi se esiste una logica condivisa che permetta di superarne le rispettive difficoltà.

La conclusione che ne deriva, dopo qualche anno di ricerca, è di una sconcertante semplicità: tutte le problematiche derivanti dalla psicopatologia della matematica e dall'educazione del cieco provengono dal considerevole realtà divise e indipendenti, in ultima analisi nel percepirle solo ad un livello sintomatico e superficiale.

Gli approcci normalmente considerati tendono, tanto per la matematica quanto per l'educazione del cieco, a considerarne solo la sintomatologia delle situazioni contingenti, senza operare un'analisi delle cause profonde.

L'articolarsi dell'argomentazione porta a scoprire che l'educazione dei deprivati sensoriali e la rappresentazione matematica del mondo sottintendono la medesima radice comune.

Nel primo capitolo si è cercato di riscoprire il valore storico e antropologico della rappresentazione matematica, rivalutando lo stretto legame con il quotidiano che tale materia implica.

Nel capitolo secondo sono, in modo complementare, presentate le diverse situazioni di mancata comprensione del linguaggio matematico, a partire da deficit organici fino alle carenze di tipo più squisitamente educativo. La descrizione dei diversi modelli diagnostici e riabilitativi è il primo

importante passo per comprendere quale collocazione sia possibile dare al cieco nel suo complesso rapporto con la matematica.

Il terzo capitolo è logicamente speculare al precedente: centrato sulle persone non vedenti, si utilizzano i modelli riabilitativi esplicitati in precedenza per comprendere diverse implicazioni psicologiche afferenti alla realtà della privazione visiva.

Nel quarto capitolo si riportano i resoconti più significativi degli incontri e delle interviste fatte nel corso della ricerca, prediligendo quei contributi che maggiore spessore hanno potuto dare agli elementi teorici e didattici.

Alla trattazione ordinaria, seguono due appendici: la prima, una trattazione esaustiva della percettologia aptica, elaborata e messa a pubblica disposizione sul web dalla dott.sa Elena Pasquinelli, al tempo dottoranda in psicologia presso l'Università di Pisa; la seconda, utilizzata e divulgata in diversi corsi di aggiornamento per insegnanti di scuola primaria, media inferiore e superiore, esplicita in modo semplice gli elementi concettuali di base della privazione visiva.

Con grande sorpresa, soprattutto di chi scrive, la presente ricerca non porta alla strutturazione dell'ennesimo modello riabilitativo specifico, né verso la cecità, né verso la matematica: la scoperta di tali e tanti elementi comuni vuole però spingere la riflessione pedagogica verso una più approfondita analisi dell'educazione e della didattica, a possibile soluzione dei diversi stati di *empasse* cui sono condannati, in egual misura, studenti ciechi e normodotati nelle scuole italiane.

CAPITOLO 1

Elementi preliminari

1.1 Introduzione

Sviluppare una ricerca di psicopatologia della matematica, applicata ad una patologia quale la cecità, non rappresenta una trattazione né facile, né appetibile, almeno di primo acchito.

Definire il quadro formale di una trattazione di questo genere implica, necessariamente, la comprensione preliminare della realtà del linguaggio matematico e del suo sviluppo, al fine di comprenderne, in linea generale, le caratteristiche e le problematiche relative all'applicazione.

In parallelo, è altrettanto necessario addentrarsi nella psicologia e nelle implicazioni umane di una patologia particolare e di antica definizione, quale la cecità.

In questo primo capitolo si cercherà di definire le origini del pensiero matematico, in parallelo allo sviluppo del suo linguaggio, al fine di comprendere se si tratti di una *formae mentis* riservata a pochi genii, come spesso (ed erroneamente!) si crede, oppure se il pensare per *numero et mensura* sia un "qualcosa" che ci appartiene in modo più stretto e vicino di quanto non appaia comunemente.

1.2 Alle origini del problema

Contare. Saper fare calcoli. Fare matematica. Abilità che ciascuno di noi associa alla propria esperienza personale e alla propria crescita.

Da che cosa nasce e come si sviluppa questa abilità? Da quando l'uomo ha imparato a contare, nella sua storia evolutiva? E' una capacità "solo"umana, e, in caso di risposta affermativa, fino a che punto?

La curiosità attorno alla matematica e alle abilità di fare dei calcoli nasce sostanzialmente con la matematica stessa, e in quanto tale, si perde nella notte dei tempi. Da un punto di vista storico, se

non di evoluzione della specie, la matematica ha per millenni avuto attorno a sé un'aura di magia e di mistero; ma lo stesso mistero è condiviso anche da un punto di vista ontogenetico: sono molte le persone che si ritengono “negate” alla matematica, e considerano la conoscenza approfondita della matematica come una dote, una sorta di genio, o propria di persone dotate di particolari predisposizioni.

Ma perché quella che è considerata la più precisa e razionale di tutte le scienze è parimenti avvolta in questa sorta di mistificazione?

Tutte queste domande sono ancora ben lungi dall'aver risposte, anche agli “addetti ai lavori” che tali domande se le pongono per professione, si tratti di matematici o di educatori. Ma l'interesse principale attorno a cui si svolge il dibattito scientifico contemporaneo non è tanto su risposte certe attorno a tali questioni, quanto sul perché ci si ponga in effetti tali domande. Perché c'è “chi calcola e chi no?” Perché il non – fare matematica è un problema? Sono questioni squisitamente contemporanee, che fino a qualche decennio fa nemmeno erano poste: c'era chi aveva il bernoccolo dei calcoli e chi non l'aveva, e basta.

I risultati delle ricerche storiche, psicologiche e neurofisiologiche degli ultimi decenni hanno dato un senso a tali “perché”, fornendo a chi si occupa di educazione qualche strumento in più, sia per cercarne le cause, sia per ipotizzare una qualche soluzione, in modo da ridurre la dicotomia, accettata fatalisticamente da sempre, che il mondo sia necessariamente diviso tra umanisti e razionalisti, tra matematici e no.

In questo primo capitolo introduttivo si cercherà di riflettere sulla “protomatematica” dell'età evolutiva, scoprendo che in alcuni casi sottende meccanismi molto più complessi di quanto non si sia portati a pensare: il bambino di pochi mesi è già un abile matematico. In secondo luogo, si cercherà di dare qualche elemento di conoscenza e riflessione, tra le informazioni che il dibattito scientifico odierno mette a disposizione.

1.3 Che cos'è la matematica?¹

Dalle origini storicamente documentate e fino al 500 a.C. era lo studio dei numeri (Egitto e Babilonia) per soli scopi utilitaristici.

¹ Devlin, K., *Il linguaggio della matematica – rendere visibile l'invisibile* - Ed Bollati Boringhieri Scienze, Torino 2002

Nella sua *Storia Universale dei Numeri*² George Ifrah riporta come i Sumeri nel 3.300 a.C., per la loro contabilità usassero dei gettoni di argilla, corrispondenti ad altrettanti capi di bestiame, giare di olio, forme di pane, etc... Per ogni contadino, i gettoni (di diversa foggia, a seconda di ciò che rappresentavano) venivano rinchiusi in sfere di argilla, corrispondenti ad ogni “contribuente”. La sfera di argilla può essere considerata come il prototipo del libretto al portatore.

Problema: per vedere il contenuto di ogni sfera, bisognava romperla; si prese allora l’abitudine di segnare all’esterno delle tacche corrispondenti al contenuto.

Ma in tal modo il contenuto diventava inutile !!

Ci vollero molte generazioni (secoli!) per abbandonare il ridondante contenuto: il processo evolutivo di astrazione e di simbolizzazione fu tutt’altro che facile.

Per la matematica astratta, con l’uso di lettere al posto dei numeri, che diede inizio alla notazione formale della matematica, bisognerà attendere fino ai Greci, intorno al 600 a.C., con Talete. Pitagora, suo allievo, c.ca 570 – 500 a.C., perfezionò ulteriormente il livello di astrazione. A questi due fondamentali matematici dell’antichità dobbiamo la prima stesura elegante e formale della matematica: lo studio dei teoremi.

Si è calcolato che il secondo libro più pubblicato nella storia dopo la Bibbia sono gli *Elementi* di Euclide.

Dal 500 a.C. al 300 d.C. è il periodo di maggiore sviluppo della matematica greca: nasce e si sviluppa in questo periodo lo studio della geometria.

Per i Greci i numeri erano funzionali allo studio delle lunghezze. Ma quando incidentalmente incontrarono lunghezze irrazionali (il rapporto circonferenza/diametro del cerchio “ π ” o il rapporto diagonale/lato nel quadrato) lo studio dei numeri subisce una clamorosa battuta di arresto.

Per i greci la matematica era un’impresa intellettuale con elementi religiosi ed estetici, la ricerca della perfezione, formale o mistica. La presenza di un irrazionale era considerato quanto meno di cattivo augurio, se non portatore di funesti presagi.

I greci non contemplavano i numeri negativi, che divennero di uso comune solo nel 18° secolo.

Dall’alto medioevo fino al 18° secolo per il pensiero occidentale la matematica praticamente non cambia; risolve problemi di tipo statico, quali contare e misurare le forme.

L’introduzione dello “zero” lo dobbiamo agli indiani e agli arabi, più o meno in contemporanea, all’incirca verso il decimo secolo. Ma bisognerà attendere il calcolo differenziale (Newton e Leibnitz) per iniziare lo studio delle strutture in movimento e in cambiamento.

² Ifrah, G., *Storia Universale dei Numeri* – ed. Mondadori, Milano 1980

Nel Rinascimento prima, e nell'Illuminismo poi, i grandi matematici sono i fisici; la matematica serve alla fisica.

È solo dal 1900 che lo studio della matematica “esplode”:

- nel 1900 tutta la matematica si poteva riassumere in circa 12 argomenti, e poteva essere contenuta in circa 80 volumi; con questa matematica, ad esempio, Albert Einstein cominciò ad ipotizzare la Teoria della Relatività Ristretta, riprendendo studi già iniziati quasi quattro secoli prima da Galileo e da Keplero.
- Allo stato attuale, sono circa 60 – 70 le diverse categorie della matematica, e per essere contenute servirebbero circa 100.000 volumi. Molta di questa matematica è dovuta all'enorme progresso scientifico della prima metà del '900, e ai relativi problemi che solo la matematica era in grado di risolvere.

1.4 Schemi della mente

Il passo iniziale nello sviluppo di una nuova area della matematica è l'identificazione di una struttura; poi viene l'astrazione di tale struttura a oggetto matematico, come il concetto di numero naturale o di triangolo. Studiando tale concetto astratto, i matematici osservano strutture che portano alla formulazione di assiomi. Una volta in possesso degli assiomi, tutto può procedere sulla base di dimostrazioni logiche, svolte in modo del tutto astratto. Questo procedimento era già noto ai tempi di Talete, e nello stesso periodo il matematico Eratostene fu in grado di misurare il diametro della Terra solo sulla scorta di applicazioni astratte.

Durante il 19° secolo il processo di “astrarre delle astrazioni” fu portato al punto che solo pochi matematici rimasero in grado di apprezzarne i nuovi sviluppi. Si costruivano astrazioni su astrazioni, formando “torri” altissime.

Tale processo dura tutt'oggi, e può avere come conseguenza quello di allontanare molte persone dalla matematica, ma non di creare di per sé matematica più difficile. Ad ogni livello di astrazione, la meccanica rimane all'incirca la stessa.

Questo meccanismo cominciò ad essere messo in crisi, a scricchiolare per poi crollare fragorosamente nel trentennio che va dal 1900 al 1930: nel 1902 il famoso “paradosso di

Russell³ contraddice e smonta le basi della teoria degli insiemi formalizzata fino ad allora (i teoremi di Cantor e Frege), mentre nel 1931 un giovane matematico austriaco, Kurt Gödel rimette in discussione uno dei metodi cardine della matematica, il metodo assiomatico.

Il metodo assiomatico separa due concetti:

- dimostrabilità: la dimostrabilità di un teorema attiene solamente ad un fatto tecnico e formale, basta “sapere la matematica”;
- verità: data inizialmente per intuizione, necessita poi di dimostrazione, e investe invece profonde questioni filosofiche.

Gödel dice: << se si stabilisce un sistema di assiomi coerente per una parte consistente della matematica, allora quel sistema di assiomi sarà incompleto, cioè esisterà sempre una domanda che non troverà risposta sulla base di tali assiomi >>.

Per cui, il meglio che si può fare è supporre che gli assiomi siano coerenti e sperare che siano abbastanza ricchi da permetterci di risolvere i problemi più importanti. Bisogna accettare che non si riuscirà mai a risolvere tutti i problemi usando un certo insieme di assiomi: ci saranno sempre proposizioni vere che non si possono dimostrare.

A questo colpo, già di per sé durissimo, s’aggiunse quello definitivo del 1963: Paul Cohen dimostra che certe proposizioni matematiche sono “indecidibili”, cioè non si può dimostrare né la loro verità, né la loro falsità. È un’evoluzione del teorema di Gödel; mentre il primo dice solo che in un sistema di assiomi qualche proposizione è indecidibile, Cohen dimostra come assumere una posizione specifica e dimostrare quali di tali proposizioni siano indecidibili.

Il quarantennio che va dal 1930 al 1970 è definita “l’età dell’oro della logica”. La logica ha raggiunto la sua perfezione matematica, ma si è profondamente allontanata dal suo obiettivo originale, quello di usare la matematica per descrivere strutture della mente umana.

Mentre i logici sviluppavano la logica come una nuova area della matematica, l’uso della matematica per descrivere gli schemi della mente umana viene ripreso di nuovo...

...ma non dai matematici!!!

³ Così lo spiega Piergiorgio Odifreddi in “*Il Matematico Impertinente*” – Ed. Tea Longanesi, 2005 Milano, pg. 185 “Riformulato in termini linguistici, l’argomento di Russell partiva dall’ovvia constatazione che alcuni aggettivi si applicano a se stessi, e altri no: ad esempio, “corto” è corto, ma “lungo” non è lungo. Anzitutto Russell propose di chiamare *autologic* gli aggettivi del primo tipo e *eterologic* quelli del secondo, creando così due nuovi aggettivi. Poi si fece una domanda di troppo, chiedendosi di che tipo sia *eterologico*, e scoprì una contraddizione. Se infatti *eterologico* fosse *autologico*, dovrebbe applicarsi a se stesso, e dunque essere *eterologico*. E se fosse eterologico, non si applicherebbe a sé stesso, e non potrebbe essere *eterologico*.”

1.5 Matematica per lo studio del linguaggio

Verso la fine del 19° secolo ci fu uno spostamento dallo studio degli aspetti storici delle lingue (la cosiddetta “linguistica storica” o “filologia”) all’analisi delle lingue come sistemi di comunicazione esistenti in un certo istante, indipendentemente dalla loro storia. Tale studio si chiama “linguistica sincronica”. Da qui nasce la moderna linguistica, basata sulla matematica.

Pionieri di tale approccio furono:

- in Europa: Mongin – Ferdinand De Saussure
- negli Stati Uniti: Frank Boas e Leonard Bloomfield

Il processo di trovare assiomi che descrivano la struttura sintattica delle lingue inizia con Noam Chomsky (il testo, del 1957 nella sua prima edizione statunitense, in italiano è tradotto come “La struttura della sintassi”, Laterza – Bari, 1970).

Negli Stati Uniti dopo due anni dalla sua pubblicazione trasformò la linguistica da una branca dell’antropologia in una scienza matematica. Chomsky dimostra che la matematica è esattamente lo strumento intellettuale per descrivere strutture astratte come la grammatica di una lingua.

Chomsky usò l’algebra per esprimere alcune strutture del linguaggio, ma ci sono altri schemi che la matematica aiuta ad analizzare: dato uno scritto sufficientemente lungo, un matematico può, analizzando la frequenza relativa con cui si usano certe parole, stabilire il probabile autore.

Metodo usato per stabilire la proprietà di certi scritti, si rivelò come una sorta di identificazione delle “impronte digitali” di un autore.

1.6 Vedere la matematica

La matematica è la scienza che studia le strutture astratte; non è possibile tale studio senza un linguaggio simbolico astratto.

Ad esempio, esiste un tradizionale parallelismo tra la matematica e la musica.

La notazione musicale sul pentagramma è l’astratto, come la matematica. Ma la musica si può ascoltare, indipendentemente dalla conoscenza della lettura o scrittura del rigo musicale; la matematica invece è imprescindibile dal suo simbolismo.

Non a caso nella storia molti matematici sono stati anche buoni musicisti.

La grafica computerizzata ha permesso di rendere visibile parte della scienza matematica, ma è una percentuale molto piccola; il grosso rimane pura forma astratta ed in quanto tale accessibile solo agli “addetti ai lavori”.

Il linguaggio matematico è connaturato alla matematica come scienza: chiedere alla matematica di esprimersi in modo più semplice sarebbe come pretendere di studiare più facilmente Dante chiedendogli di scrivere in modo più semplice.

La matematica rende visibile l'invisibile: equazioni matematiche spiegano come gli aerei stiano sospesi nell'aria (teorema di Bernoulli), o permettono di calcolare la curvatura della Terra ben prima che fossero possibili i voli in orbita (calcolo della curvatura Terra da parte di Eratostene).

Permette anche di ipotizzare il futuro: come il calcolo della probabilità nel risultato delle elezioni, il calcolo differenziale nelle previsioni del tempo, il calcolo della curvatura dell'Universo, quindi conoscendo il giorno in cui è iniziato e la sua curvatura attuale, è possibile stabilire il giorno in cui l'Universo finirà.

A 5 anni un bambino cresciuto nel mondo occidentale acquisisce il concetto di numero. All'umanità ci sono voluti migliaia di anni.

La prima astrazione “numero degli elementi di un insieme”: non è un concetto innato, ma acquisito.

In altre culture si acquisiscono modi di numerazione diversi, come vedremo in seguito.

Molti oggi si vantano di essere incapaci in matematica: linguisti, statistici, meteorologi e scienziati di ogni materia oggi dimostrano che proprio l'uso della matematica riguarda la quotidianità, anche se inconsciamente.

A questo punto, dato lo specifico della presente ricerca, si impone una domanda imbarazzante: la rappresentazione visibile o concreta delle strutture è condizione necessaria allo studio della matematica? Se così fosse, significherebbe che lo studio di tale materia da parte di una persona non vedente risulterebbe logicamente precluso. Da un'intervista con un matematico cieco, il cui testo si riporterà integralmente nel corso del presente scritto, emerge come spesso le rappresentazioni che comunemente si danno di alcune strutture matematiche sui manuali scolastici siano in realtà del tutto fuorvianti; allo stesso modo, nel tentativo di rappresentare strutture particolari, quale quella di infinito, qualunque rappresentazione legata a modelli visivi risulta necessariamente falsa. In particolare, nella rappresentazione del concetto di infinito, chi è privo della vista gode di alcuni vantaggi, non dovendo ridurre o smontare la necessità che lega chi vede dal rappresentarsi un modello che per sua natura non può essere rappresentato.

1.7 L'animale matematico: dall'evoluzione per specie alla crescita individuale

“Nel 1970 un ricercatore americano, Richard Thompson, ha registrato neuroni isolati nel cervello di gatti ai quali erano presentate serie di suoni o di lampi luminosi. Certe cellule entravano in attività solo dopo un numero approssimativo di eventi. Una delle cellule rispondeva dopo cinque eventi qualsiasi, che si trattasse di cinque lampi luminosi, di cinque suoni brevi o di cinque suoni lunghi. La modalità sensoriale aveva dunque poca importanza: contava soltanto il numero. Il neurone, del resto, non si comportava come un contatore digitale, poiché cominciava a rispondere al numero 4, raggiungeva il suo massimo per 5 e andava decrescendo lentamente. Numerose cellule del medesimo tipo sono state osservate nella stessa zona della corteccia associativa del gatto.”⁴

Con questo primo contributo, tratto dal testo *Il pallino della matematica* di Stanislas Dehaene, allievo del neurologo Jean Paul Changeaux, iniziamo a considerare lo sviluppo della matematica in chiave ontogenetica, ossia partendo dallo studio delle abilità matematiche da parte dell'uomo, fin dal loro primo apparire. Studi comparati di neurologia e neurofisiologia hanno dimostrato che l'abilità di calcolo è, fino ad un certo punto, un corredo genetico che ci portiamo iscritto nella nostra conformazione morfologica corticale e, sorprendentemente, non è un'abilità solamente umana. Ma lo diventa nel momento in cui lo sviluppo umano si differenzia nettamente da quello animale, grazie alla strutturazione di un linguaggio formale.

Continua Dehaene: “Il nostro cervello sarebbe dotato di un accumulatore come quello dei ratti, un contatore approssimativo che ci permette di percepire, di memorizzare e di confrontare grandezze numeriche. Le capacità conoscitive della nostra specie si differenziano da quelle degli altri animali in molti punti. Da una parte noi possediamo la singolare facoltà di concepire spontaneamente vasti sistemi di simboli. Questa prodigiosa capacità simbolica ci permette in particolare di inventare il linguaggio matematico. Siamo inoltre dotati di un organo cerebrale del linguaggio che ci permette di esprimere i nostri pensieri e di comunicarli agli altri. Infine, possediamo la capacità di architettare progetti complessi e di portarli a buon fine basandoci contemporaneamente su una memoria retrospettiva del passato e su un'anticipazione delle possibilità che ci riserva il futuro. Allora, la nostra rappresentazione dei numeri è radicalmente diversa da quella di cui dispongono gli altri animali? No. Noi siamo di fatto dotati di una rappresentazione mentale delle quantità molto simile a quella che ha un ratto, un piccione o una scimmia, e senza far ricorso al linguaggio, possiamo come loro numerare rapidamente collezioni

⁴ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 36

di oggetti sonori o visivi, addizionarli e confrontarne la cardinalità. Ed entrano ugualmente in gioco quando siamo in grado di capire numeri pronunciati o scritti in forma simbolica, quali le cifre arabe. L'intuizione della grandezza che ereditiamo dall'evoluzione avrebbe il ruolo di un germe che favorirebbe lo sbocciare della matematica più avanzata.”⁵

1.8 Contare a pochi mesi⁶

“Nel corso degli anni Ottanta esperimenti hanno dimostrato il possesso di alcuni aspetti del concetto di numero già in bambini di meno di un anno, prima ancora di aver avuto occasione di estrarli dalle loro interazioni con l'ambiente, come aveva fatto Piaget.

Autentiche capacità numeriche sono state riscontrate persino in neonati di pochi giorni, indipendentemente dalla modalità sensoriale con cui lo stimolo era proposto, uditivo o visivo.

Numerose esperienze hanno dimostrato che, fin dal suo primo anno di età il bambino manifesta una grande sorpresa quando è testimone di trasformazioni magiche che non rispettano le leggi fondamentali della fisica. Per esempio, se vede un oggetto, all'inizio appoggiato su un tavolo, restare misteriosamente sospeso per aria quando gli si toglie di sotto il supporto, osserva la scena con attenzione incredula. Allo stesso modo dimostra sorpresa quando una scena suggerisce che due oggetti fisici occupano la stessa posizione nello spazio. Il suo sistema visivo sa che è fisicamente impossibile che due oggetti si compenetrino. E, ancora, se si nasconde un oggetto dietro uno schermo, si stupisce che non sia più lì quando lo schermo si abbassa. Osserviamo per inciso che questo dimostra che, fin dai cinque mesi, contrariamente alla teoria di Piaget, il bambino sa che gli oggetti continuano ad esistere anche quando non sono più visibili. Oggi sappiamo che, se i bambini di meno di un anno non superano i test piagetiani di permanenza dell'oggetto, ciò è dovuto all'immaturità della loro corteccia prefrontale che controlla i movimenti di presa; il fatto tuttavia che non cerchino con la mano un oggetto nascosto, non significa che lo credano scomparso!

Al di là di un certo limite il bambino diventa incapace di distinguere un numero n dal suo successore $n + 1$; questo è effettivamente ciò che si nota oltre il numero 4.

⁵ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 43

⁶ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 45

Sul piano dell'evoluzione è interessante notare come la natura abbia fondato le basi dell'aritmetica sulle leggi fondamentali della fisica. Come minimo, le leggi impiegate dall'intuizione aritmetica dei bambini piccoli sono tre:

1. lo stesso oggetto non può occupare simultaneamente diverse posizioni distinte;
2. è escluso che due oggetti diversi possano occupare la stessa posizione;
3. un oggetto fisico non può né sparire né comparire improvvisamente: la sua traiettoria spazio – temporale deve essere continua.

Possiamo dare una definizione ipotetica della matematica infantile: “il numero è una proprietà degli insiemi di oggetti fisici discreti”

Tutto comincia al momento della nascita, quando già si notano eccellenti capacità di distinzione numerica. Il neonato distingue a occhio nudo due oggetti da tre, e anche tre da quattro, e il suo orecchio riconosce la differenza tra due e tre suoni. Il cervello sembra già equipaggiato da rilevatori numerici probabilmente esistenti fin da prima della nascita. L'informazione necessaria a questo sembra forse iscritta nel nostro patrimonio genetico. Non si capisce infatti come potrebbe il bambino trarre dall'ambiente che lo circonda informazioni sufficienti per imparare i numeri 1, 2, 3; anche supponendo un apprendimento prenatale o nelle primissime ore di vita – quando però lo stimolo visivo è ridotto al minimo! – il problema resterebbe immutato, poiché è impossibile che un organismo che ignora tutto sui numeri possa imparare a riconoscerli. Quale ne sia l'origine, non ci sono dubbi che, dopo i sei mesi, il bambino possiede un contatore aritmetico rudimentale, capace di riconoscere i numeri piccoli e di combinarli in addizioni e sottrazioni elementari. Stranamente, la sola nozione aritmetica semplice di cui sembra essere privo è forse la relazione di ordine. A quale età sappiamo che il 3 è più grande del 2? I rari esperimenti che sono stati fatti rivelano che sembra non esserci traccia di tale capacità prima dei quindici mesi circa. Se si accettano questi dati preliminari, la nozione di “più grande” e di “più piccolo” sarebbe allora l'ultima a comparire. E quale ne sarebbe la provenienza? Verosimilmente da un'operazione di astrazione dall'addizione e dalla sottrazione. Il più grande sarebbe il numero che si ottiene aggiungendo, ed il più piccolo quello che si ottiene togliendo. Eseguendo addizioni successive, il bambino vedrebbe dunque accendersi, in un ordine riproducibile, i rilevatori 1, 2 e 3 e finirebbe così per memorizzare la loro posizione nella serie.”⁷

⁷ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 58 e succ

1.9 La nostra eredità numerica

“In tutto il mondo gli uomini hanno sempre indicato i primi tre numeri con una serie di altrettanti segni identici. Quasi tutte le civiltà abbandonano questa notazione analogica dopo i numeri 3 o 4, che segnano i limiti della percezione immediata del numero nell'uomo.

| | | | | | |
|-----------------------|---|----|-----|------|-------|
| Notazione cuneiforme | ↑ | ↑↑ | ↑↑↑ | ↑↑↑↑ | ↑↑↑↑↑ |
| Cifre etrusche | | | | | ∧ |
| Cifre romane | | | | IV | V |
| Cifre maya | • | •• | ••• | •••• | — |
| Cifre cinesi | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 |
| Antiche cifre indiane | — | = | ≡ | + | ∫ |
| Arabo manoscritto | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Cifre arabe moderne | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Dai recenti contributi delle neuroscienze, sembra che il limite della percezione numerica precisa si limiti a 4 o 5; dopo questa soglia le aree occipito – parietali del nostro cervello (visione di uno stimolo e sua discriminazione) non siano più in grado di mantenere a “colpo d’occhio” una quantità discreta in modo preciso, e da qui in poi inizi l’approssimazione. È una condizione connaturata con la nostra struttura neurologica e corticale.”⁸

A titolo di ulteriore esempio, anche il tatto sembra mantenere il medesimo limite di discriminazione quantitativa: l’alfabeto Braille si compone di celle composte di tre per due punti;

⁸ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 71

ma i sei punti potenziali della cella braille non vengono mai usati tutti insieme; le diverse combinazioni prevedono massimo 4 o 5 punti; oltre questa quantità, il tatto, che è per sua natura un senso con capacità di risoluzione abbastanza grossolana, non riesce più a distinguere lo stimolo. Oltretutto, lo stimolo tattile derivante dai punti in rilievo del braille non può essere ravvicinato al di sotto della soglia limite di un millimetro di distanza: al di sotto di tale misura i polpastrelli delle dita di un uomo non distinguono più se si tratti di due punti o solo di uno.

1.10 La rappresentazione mentale del numero

“Nel nostro cervello vi è un organo preposto alla percezione e alla rappresentazione delle quantità numeriche; le sue caratteristiche lo collegano senza dubbio alle facoltà protoaritmetiche presenti nell’animale e nel bambino molto piccolo; può codificare con precisione solo gli insiemi il cui numero cardinale non superi il tre e, più i numeri sono grandi e più sono vicini, maggiore è la facilità con cui li confonde. Ha anche la tendenza ad associare l’estensione delle quantità numeriche con un’estensione spaziale; così che si può legittimamente parlare di una rappresentazione dei numeri sotto forma di retta numerica orientata nello spazio.

Se tali entità matematiche sono così difficili da accettare per il cervello umano, se costituiscono una sfida per la nostra intuizione, è perché non sono in corrispondenza con nessuna categoria in noi preesistente. I numeri interi entrano tranquillamente in risonanza con la rappresentazione mentale innata delle quantità numeriche, e questo fa sì che anche un bambino di quattro anni possa comprenderli. Gli altri tipi di numeri, al contrario, non hanno un’analogia diretta nel nostro cervello. Per comprenderli occorre dunque mettere a punto un modello mentale che li renda intuitivi. E questo è ciò che fa l’insegnante quando descrive i numeri negativi come un’estensione della retta numerica alla sinistra di zero. Il nostro cervello, per funzionare in modo intuitivo, ha bisogno di immagini e, per quel che riguarda la teoria dei numeri, l’evoluzione ci ha dotato di un’immagine intuitiva dei soli numeri interi positivi.”⁹

⁹ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 101

1.11 Superare l'approssimazione

Quali strategie ha adottato il cervello umano per superare l'approssimazione derivante dalla gestione dei grandi numeri, gestione non più intuitiva da un punto di vista percettivo?

L'uomo possiede un linguaggio, e manipola i numeri con precise regole di tipo sintattico: la gestione dei numeri in base dieci, ad esempio, e una vera e propria grammatica del numero, che ci permette di maneggiare ingenti quantità facendo ricorso a regole astratte; ma lo stesso potrebbe dirsi per la numerazione in qualunque altra base numerica (binaria, ottale, esadecimale, etc...).

In tal modo, ogni lingua del mondo si è dotata, con l'evoluzione, di precise regole sintattiche con cui i numeri sono gestiti.

“Fin dai tre anni e mezzo il bambino impara precocemente che l'ordine con cui recita i numeri è fondamentale, mentre l'ordine nel quale indica gli oggetti non ha nessuna importanza, purché sia contato una ed una sola volta. I bambini di questa età sono in grado di correggere errori di calcolo abbastanza complicati: accetta che si cominci a contare partendo da metà di una riga, o di contare un oggetto sì ed uno no, ma alla condizione di tornare poi a contare gli oggetti precedentemente trascurati. Il principio di corrispondenza termine a termine secondo il quale ciascun oggetto deve essere contato una ed una sola volta è già diffuso nel mondo animale: quando un ratto esplora i canali di un labirinto in cerca di cibo, tende ad escludere quelli già visitati: è un comportamento razionale che minimizza i tempi di esplorazione. L'algoritmo di conteggio si trova dunque nell'intersezione di due capacità elementari del nostro cervello, la seriazione e l'esplorazione esauriente.”¹⁰

1.12 La creazione di algoritmi

“Il bambino impara rapidamente come si fa a contare, ma pare che all'inizio ne ignori il perché. Il significato si disvela mano a mano che trova delle strategie per risolvere i problemi di calcolo, strategie che vengono costruite personalmente e soggettivamente.

¹⁰ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 101 e succ.

I problemi di calcolo non sono affrontati secondo un ordine immutabile. Ciascun bambino si comporta come un apprendista cuoco che prova caso per caso la ricetta, finché non trova quella che più probabilmente e rapidamente gli fornisce il risultato esatto.

L'educazione matematica gioca un ruolo fondamentale in tutto questo, sia proponendo ai bambini algoritmi ai quali loro non avrebbero mai pensato, sia fornendo loro regole esplicite di selezione delle migliori strategie. Ma la più importante di queste facoltà, il processo di invenzione di algoritmi, esiste già, innata, va solamente educata nel modo corretto.¹¹”

E il linguaggio?

All'inizio dei suoi esperimenti di conta il bambino usa le dita della mano: non è un caso se la nostra numerazione si fonda in base dieci, poiché è quella percettivamente più intuibile e presente. La corrispondenza biunivoca tra la quantità di elementi da contare e la relativa rappresentazione come “numero di dita delle mani” dà al bambino un'immagine immediata e duratura. Con il tempo imparerà che la rappresentazione con le dita è ridondante, e la accantonerà a favore della pronuncia del medesimo numero, evocativo della quantità in esame. Da quando inizia ad abbandonare la conta con le dita, sarà il linguaggio e le relative regole a fornire gli strumenti necessari per contare, spostando la forma di ragionamento dall'operatorio - concreto al simbolico – astratto.

Ma non deve mai essere dimenticato che la formalizzazione di un nuovo algoritmo deve passare dall'esperienza concreta e dalla sua rappresentazione mentale: il solo linguaggio non basta, e rischia di poggiare il nuovo impianto teorico su un terreno troppo fragile. “È ciò che accade quando si comincia a frequentare la scuola, dove spesso si ha un rovesciamento della matematica mentale. Da una conoscenza intuitiva delle quantità numeriche, dominata dalle strategie di calcolo, si passa ad un'aritmetica spesso imparata a memoria. Tale importante svolta coincide anche con le prime difficoltà matematiche. Improvvisamente fare progressi in matematica significa immagazzinare a memoria una quantità di informazioni numeriche, compito al quale un cervello di quell'età non è ben preparato. Il bambino vi si rassegna a malincuore ma, come immaginiamo, questo gli costa la perdita di ogni comprensione intuitiva delle operazioni aritmetiche.¹²”

¹¹ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 135

¹² Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 155

1.13 Sintesi

In questo primo capitolo introduttivo si è cercato di dare ragione dello sviluppo del pensiero matematico da un punto di vista ontogenetico e filogenetico, cercando di dimostrare quanto lungo e difficoltoso sia stato lo sviluppo del pensiero matematico nella sua concezione più rigorosa, come quanto questa ricerca di rigore abbia pure portato la riflessione intellettuale all'interno di vicoli ciechi di solo sapore speculativo, allontanando la matematica da ciò che ne era il suo carattere fondante.

L'erronea percezione di matematica come solo rigore, e pertanto retaggio di sole menti "elette", pare trasferirsi anche all'interno della didattica, fin dai suoi elementi più elementari, finendo talvolta con il ridurre il suo insegnamento al solo studio pedestre di strutture complicate, il cui significato rimane dubbio.

Al di là dell'errore filosofico ed educativo, rimane spesso il colpevole atteggiamento di snaturare quanto di pregresso o di genetico il nostro patrimonio evolutivo già possiede per affrontare ed utilizzare la matematica, come profondamente gli studi di Dehaene hanno evidenziato, con il risultato di ripudiare quanto già posseduto fin dalla prima infanzia a favore di elementi del tutto avulsi dall'esperienza maturata nel frattempo.

Infine, la scelta di dare un'attenzione del tutto particolare agli sviluppi matematici relativi al suo linguaggio e al suo apprendimento, come agli elementi pre-logici del fare matematica, quali le capacità di numerazione, seriazione, cardinazione, sono gli elementi fondanti della matematica e del suo apprendimento a qualunque livello e in qualunque condizione, cercando di dimostrare nel corso della trattazione, come tali elementi costituiscano le basi comuni per apprendere la matematica anche in assenza della vista.

Il riferimento ai contributi scientifici di Noam Chomsky, nel paragrafo 5, in merito all'applicazione delle strutture algebriche allo studio del linguaggio, non può non far sorgere il dubbio che la domanda fondamentale alle sue ricerche abbia valore biunivoco. In altre parole: è applicabile all'apprendimento della matematica, vista come linguaggio, il medesimo innatismo generico teorizzato dallo stesso Chomsky per le strutture linguistiche? Una prima risposta risiede già in una sua citazione: <<il linguaggio, in quanto competenza, cioè potenzialità di costruzione ed uso di singoli linguaggi, è innato in ogni singolo individuo. Il linguaggio viene assimilato ad una facoltà o ad un organo corporeo, i quali crescono con la crescita dell'individuo e pervengono alla maturità con l'età adulta: allora siamo padroni (competenza più esecuzione) del nostro linguaggio, come pure delle nostre capacità motorie o di pensiero o altre. Il carattere innato della

facoltà linguistica viene dimostrato dal fatto che ogni bambino è in grado di apprendere la lingua del suo ambiente senza alcuna difficoltà, così come apprende abitudini mentali, fisiche o sociali>>¹³

Dehaene approfondisce ulteriormente questo assunto, in chiave squisitamente matematica, chiedendosi << che cosa ci rivela sulla matematica e sul cervello l'organizzazione delle notazioni numeriche? Essa ci indica che gli strumenti matematici, ossia i numeri, hanno subito un'evoluzione condizionata tanto *dal* cervello quanto *per il* cervello. Condizionata dal cervello, perché è evidente che la storia dei numeri è stata limitata dalla capacità del cervello umano a inventare nuovi principi di numerazione. Per il cervello perché sono state trasmesse alle generazioni successive soltanto le invenzioni che si adattavano strettamente alle capacità conoscitive e mnemoniche umane e che, per questo motivo, accrescevano la capacità di calcolo dell'umanità.

La storia dei numeri non è evidentemente condizionata soltanto dal caso. Si scoprono in essa regolarità che si sottraggono ai casi fortuiti della storia. Attraverso frontiere e oceani, uomini e donne di tutte le razze, culture e religioni hanno regolarmente reinventato gli stessi artifici di notazione. Così il principio di posizione è stato riscoperto, in un intervallo di tremila anni, in Medio Oriente, sul continente americano, in Cina e in India. In tutte le lingue la frequenza diminuisce man mano che aumenta la grandezza dei numeri. La spiegazione di questi stupefacenti parallelismi non va ricercata in una improbabile comunicazione tra le varie civiltà. Si tratta piuttosto del fatto che tutte si sono trovate a dover affrontare gli stessi problemi e che, essendo dotati di un identico cervello capace di risolverli, gli uomini hanno ritrovato le stesse soluzioni.>>¹⁴

¹³ Tratto dalla monografia di Lyons, J., *Chomsky* – London, Fontana Press 1992, citata in Restaino, F., *Il travaglio culturale del Novecento* – Storia della Letteratura Italiana, vol. 17, pg 77 – Ed. Il Sole 24 Ore, 2005

¹⁴ Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Oscar Mondadori, Milano – 2000, pg 128

CAPITOLO 2

La psicopatologia della matematica

2.1 Introduzione

La psicopatologia della calcolo come scienza educativa nasce e si sviluppa dalla consapevolezza che non esistono persone dotate di un particolare “bernoccolo” per la matematica ma, come dimostrato dalla neurofisiologia, ogni persona ha in sé tutto il necessario per una rappresentazione matematica del mondo.

Nonostante ciò, rimangono aperte alcune questioni, di competenza squisitamente filosofica e pedagogica:

- in primo luogo, rispetto alla definizione del termine “matematica”: prima di essere la semplicistica abilità del “far di conto”, è la capacità di stabilire e di qualificare i nessi di relazionalità tra elementi del reale; in questa accezione, ogni individuo è un essere matematico, rimane da ridefinire la matematica come scienza, la cui accezione comune di abilità di calcolo è quanto meno riduttiva;
- in secondo luogo, rispetto alle abilità matematiche (di relazionalità, di simbolizzazione e di strutturazione delle procedure) pur esistendo in ciascuno di noi a livello genetico, non è pensabile si sviluppino automaticamente da sé, ma è necessario un corretto e consapevole intervento educativo.

Solo in questo modo la matematica non appare come *optional* educativo, ma riprende la propria assoluta dignità di processo evolutivo ontogenetico.

Allora, quale “educazione matematica” è possibile per i soggetti in età evolutiva, e per soggetti diversamente abili sensoriali?

Già nella scuola primaria è opportuno e possibile portare gli allievi alla scoperta dei *nessi di causalità*, cogliendo nell’esperienza diretta il “che cosa manca” ed il “che cosa serve per”.

Evidentemente diventa impensabile una matematica fatta solo di carta e matita, ma è necessaria

l'esperienza vissuta e diretta. In fin dei conti, la ricerca dei grandi matematici della storia è partita proprio da qui.

Ma nessuna scoperta e nessuna ricerca sarebbe possibile se non esistesse la curiosità, sulla quale deve poggiarsi la prima educazione matematica, fin dall'infanzia: la scuola materna deve quindi promuovere il "senso di meraviglia", unica chiave di accesso per cogliere la realtà in modo problematico.

Si riprenderà più a fondo il significato di "problema": per ora basti dire che "un problema è guardare alla realtà con occhi nuovi, che al di là del positivismo e del razionalismo, sanno ritrovare il senso di meraviglia perduto".

2.2 Numero, problema, algoritmo

La soluzione di problemi è lo specifico della didattica matematica; si tratta ovviamente di problemi di tipo numerico, anche se in accezione non esclusiva, per i quali è necessario ideare, strutturare ed applicare uno o più algoritmi.

Cerchiamo di andare a definire che cosa si intenda per numero, per problema, con specifica attenzione per i problemi di tipo matematico, per algoritmo e per euristica.

LA NOZIONE DI "NUMERO"

Cosa sono i numeri? Quale è la natura di questo concetto che io - adulto uso quasi senza pensare, e che invece il bambino, posto di fronte a situazioni "semplicissime", dimostra di non padroneggiare?

Effettivamente, si fa presto a dire "numero" ma più difficile è rendere conto della complessità del concetto che nasce dall'incontro di aspetti diversi e si presta a differenti letture interpretative. D'altra parte, come un nodo, appunto, che, generato dall'intrico dei fili che lo compongono è tuttavia altro dai singoli fili componenti, il concetto di numero esprime, nella sua definizione assiomatica, un senso che va oltre la giustapposizione delle singole istanze che lo hanno generato. Per la maggior parte delle persone i numeri sono le "entità" con cui si "contano" gli oggetti. E in effetti il **saper contare** è generalmente considerata una abilità comune, posseduta dalla totalità degli individui delle popolazioni civilizzate, anche dagli analfabeti. Naturalmente ci potranno essere persone che non conoscono l'uso dei simboli, o gli algoritmi per effettuare le operazioni,

ma ciò non toglie che anche gli strati più incolti di una popolazione sappiano "**contare**" gli oggetti con cui hanno a che fare, eventualmente aiutandosi con strumenti rozzi di conteggio. Questo potrebbe far pensare che i numeri siano "**innati**".

Tra le prime testimonianze note di numerazione scoperte dai paleontologi vi sono delle tacchettature incise su reperti di osso. L'osso è uno strumento molto comune, ma c'è chi usa insiemi di sassolini, conchiglie, bastoncini, persino escrementi secchi: i racconti dei primi viaggiatori venuti a contatto con popolazioni primitive abbondano di osservazioni di questo genere. La prima considerazione che viene naturale è che all'origine stessa dei tentativi di conteggio fatti dall'uomo, nella sua evoluzione culturale, c'è l'idea di **corrispondenza biunivoca**. Ancor prima di avere elaborato l'idea di numero, e ben prima di averne l'espressione linguistica o grafica, l'uomo riusciva a contare. I primi "simboli scritti" che ci hanno lasciato i nostri antenati sono quelle tacche, e sono essenzialmente simboli di numeri. Con una analogia non dimostrabile ma affascinante e verosimile siamo portati a pensare che anche nei bambini, nella loro scoperta dei numeri, la corrispondenza biunivoca debba giocare un ruolo fondamentale.

Il numero nasce come conseguenza della scoperta dell'invarianza della quantità: talvolta si incontrano bambini che sono in grado di stabilire una **corrispondenza biunivoca** senza che questo li aiuti a padroneggiare il concetto di numero: infatti la corrispondenza è percepita fino a che esiste un contatto visivo o spaziale tra gli insiemi, ma cessa di esistere quando il contatto viene abolito o modificato.

In relazione a quanto detto dobbiamo osservare, chiarendo un punto fondamentale sorgente di infiniti malintesi e discussioni con i genitori dei bambini, che le seguenti cose sono molto diverse:

- **saper contare**, cioè avere la capacità di riconoscere e operare sulle quantità (discrete), con particolare riguardo alla **invarianza** del numero degli oggetti di un insieme rispetto alle disposizioni, suddivisioni ecc. di tali oggetti;
- **conoscere i nomi dei numeri**, sotto forma di filastrocca, eventualmente abbinata alla capacità di "fare la conta", in modo meccanico, di una sequenza di oggetti di un insieme ordinato;
- **conoscere i simboli dei numeri**, riconoscerli sul telecomando del televisore, sull'orologio, sulla facciata delle case

Qual è la prima definizione formale che possiamo dare al concetto di numero, ed in particolare di numero naturale?

Nella sua definizione comune si intende per numero "ciascuno degli enti costitutivi di una successione ordinata (più comunemente, la serie ordinata dei numeri interi), atto a costituire un contrassegno oppure una valutazione precisa di ordine quantitativo"¹

I numeri naturali sono enti (elementi di un insieme ordinato)
sui quali si opera con le operazioni dell'aritmetica (addizione e moltiplicazione).

Ci basti per ora questa definizione, sia come propedeutica per la didattica, sia per gli usi della presente trattazione. Ma la matematica come scienza formale ha adottato delle sue definizioni di numero, che vale la pena riportare. È interessante notare come, nonostante la nozione intuitiva di numero naturale sia estremamente antica, la sua definizione formale è invece relativamente recente: quelle qui riportate le dobbiamo a Cantor e a Peano, e furono stilate verso la fine del XIX secolo, il periodo in cui iniziò la crisi dei fondamenti della matematica, come poi preconizzato da Russel e Godel.

Definizione di Cantor:

Denomineremo "potenza" o "numero cardinale" di [un aggregato] **M** il concetto generale che, per mezzo della nostra attiva facoltà di pensiero, nasce dall'aggregato **M** quando facciamo astrazione della natura di vari elementi **m** e dell'ordine in cui vengono dati.

Definizione di Peano:

I **postulati di Peano** definiscono il **sistema dei numeri naturali** come un insieme **N** che gode delle seguenti proprietà:

- a) esiste una regola f (una "funzione") che ad ogni elemento x dell'insieme **N** ne associa un altro, $f(x)$ (detto "il successivo"), in modo che ad elementi distinti corrispondono elementi distinti (cioè, se $x = y$, allora $f(x) = f(y)$);
- b) esiste un elemento privilegiato, che indichiamo con 0 , che non è il successivo di nessun altro elemento;
- c) un qualunque sottoinsieme S di **N** che contiene lo 0 e che ha la seguente proprietà: "se x sta in S , allora anche $f(x)$ sta in S ", deve necessariamente essere uguale a tutto **N**.

¹ Cfr. Devoto, G., Oli G.C., *Dizionario della Lingua Italiana* – Ed. Le Monnier (FI) 1991

Anche in una sistemazione matematica rigorosa una possibile costruzione completa del "**sistema dei numeri**" prende le mosse dal sistema dei numeri naturali e procede ampliando tale sistema a più riprese. Dai **naturali** (0, 1, 2, 3, ...) si passa infatti agli **interi** (introducendo i numeri negativi), ai **razionali** (introducendo le frazioni, per trattare i rapporti tra grandezze omogenee commensurabili) e poi ai **reali** (per includere rapporti tra grandezze incommensurabili quali il lato e la diagonale di un quadrato, le radici, π , e ...) e quindi ai **complessi** e agli immaginari (per poter parlare delle radici di numeri negativi, $i = \sqrt{-1}$). Ogni passaggio avviene avendo cura di soddisfare un "**principio di estensione**" per il quale nel nuovo sistema ampliato sono definite operazioni che, se considerate per elementi del vecchio sistema, coincidono con le operazioni vecchie. Ogni sistema comprende cioè gli elementi del precedente con le sue operazioni e, fino alla costruzione dei reali, con il loro ordinamento naturale.

Come si può facilmente comprendere dalla presente trattazione, il concetto di numero è tutt'altro che semplice e assume connotazioni talvolta estremamente diverse, a seconda del punto di vista che si assume per definirlo. La stessa ricerca di una sua definizione univoca è impresa ardua, nonostante sia comunemente considerato come un "concetto intuitivo": le ricerche bibliografiche volte a cercare l'origine e l'etimologia del termine portano spesso dentro percorsi intricati, con la sensazione che la definizione di "concetto intuitivo" sia più un alibi, piuttosto che una notazione rigorosa.

La trattazione che qui si sviluppa, e le relative argomentazioni, vertono sulla psicopatologia della matematica: sarebbe facile gioco cadere nella tentazione di definire il numero alla luce di questo, e non altri, punto di vista. Ma si cadrebbe ancora una volta in una parcellizzazione del sapere che rischia di trascurare proprio quegli elementi di astrazione e generalizzazione che permettono di andare "alle origini", non solo del problema, ma anche della ricerca delle sue soluzioni.

In linea generale, la definizione di numero porta in sé due importanti requisiti:

1. polisemia della definizione, a seconda del punto di vista considerato (matematico, filosofico, psicologico, ecc...);
2. complementarità di definizione nel corso dell'evoluzione storica e del relativo pensiero umano, come efficacemente spiegato da Dehaene²

Per apprendere in modo univoco e astratto la sua definizione bisogna risalire alle origini, cioè nel momento storico ed evolutivo del pensiero umano in cui polisemia e complementarità di definizione non avevano ancora ragion d'essere.

² Dehaene, S., *Il pallino della matematica* – Ed Mondadori Osar Saggi, Milano 2000

La definizione di numero da parte di Bertrand Russel (“il numero dei termini di una classe data si definisce come classe di tutte le classi simili alla classe data”³) trova le sue radici e il suo complemento nella definizione di Kant, come “operazione non empirica ma puramente intellettuale, o operante sul dato molteplice dall’intuizione pura del tempo”⁴.

Entrambe le definizioni sono connotate da un certo grado di soggettivismo, che colpì la definizione di numero a partire da Cartesio (numero come “operazione di astrazione eseguita sulle cose sensibili”⁵) e da Newton, che però torna a riconoscere al numero una certa qual dignità estetica, propria del pensiero greco, come si vedrà tra poco (“il numero è rapporto: la bellezza non si figura come quantità, ma da numeri armonici”⁶).

Nella cultura latina si hanno delle accezioni diverse, maggiormente tendenti all’oggettività: queste definizioni, assieme a quelle della cultura ellenistica, valgono fino a tutto il Medio Evo.

L’etimologia del termine “numero” si fa risalire all’accusativo latino *numeru(m)*⁷, e nelle parole di Cicerone “il numero si forma dalla distinzione, o battuta degli intervalli uguali o, come spesso avviene, diversi”⁸

Il riferimento alle battute di intervalli uguali, o ritmo, trova il suo completamento nella cultura greca in cui, al complemento pitagorico di numero come “limite tra la pluralità illimitata e l’unità assoluta”⁹ si trova l’origine etimologica (e concettuale) nella definizione aristotelica (numero come “pluralità misurata o pluralità di misura”¹⁰) e platonica (“l’ordine del movimento si chiama ritmo, cioè numero”¹¹). La traduzione greca di “numero” è, letteralmente, *arithmòs*, da cui *aritmetica* come “arte dei numeri”¹².

In letteratura si trovano circa trenta diverse accezioni del termine “numero”, ma quella più ricorsiva e frequente è legata alla regolarità, intervallo, ritmo. Attività umana nella quale si coglie una cadenza ritmica, un’armonia, da cui deriva propriamente il termine “aritmetica”, intesa come numerare in modo armonico, o scienza dei numeri.

³ Definizione tratta da *Grande Dizionario della Lingua Italiana* – Ed. U.T.E.T., 1981

⁴ Definizione tratta da *Grande Dizionario della Lingua Italiana* – Ed. U.T.E.T., 1981

⁵ Definizione tratta da *Grande Dizionario della Lingua Italiana* – Ed. U.T.E.T., 1981

⁶ Definizione tratta da Tommaseo, N., *Dizionario della Lingua Italiana* – nell’edizione del 1977, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano

⁷ De Mauro, T., *Il dizionario della lingua italiana* – Ed Paravia, Torino (2000)

⁸ Definizione tratta da Tommaseo, N., *Dizionario della Lingua Italiana* – nell’edizione del 1977, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano

⁹ Definizione tratta da *Grande Dizionario della Lingua Italiana* – Ed. U.T.E.T., 1981

¹⁰ Definizione tratta da *Grande Dizionario della Lingua Italiana* – Ed. U.T.E.T., 1981

¹¹ Definizione tratta da Tommaseo, N., *Dizionario della Lingua Italiana* – nell’edizione del 1977, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano

¹² De Mauro, T., *Il dizionario della lingua italiana* – Ed Paravia, Torino (2000)

Merita una menzione a parte l'accezione ebraica, perché denotativa non tanto delle regolarità, già teorizzate dai greci, ma del misticismo e delle vere e proprie difficoltà e incomprensibilità del numero e del numerare, quasi a presagire i contenuti della psicopatologia del calcolo: per gli ebrei numero, numerare e, letteralmente, “dare i numeri” è legato alla pratica mistica della Cabala. Chi “numera” è una persona inattendibile, un folle...!

LA NOZIONE DI “PROBLEMA”

“Un problema sorge quando un essere vivente, motivato a raggiungere una meta, non può farlo in forma automatica o meccanica, cioè mediante un'attività istintiva o attraverso un comportamento appreso (definizione di G. Kanizsa)¹³”

Molto spesso, nel corso della nostra attività didattica, abbiamo fatto (facciamo e continueremo a fare) riferimento a *problemi*. Quotidianamente noi ed i nostri allievi abbiamo a che fare con dei problemi: durante le spiegazioni, nelle esercitazioni, nelle prove di valutazione etc. Forse può essere interessante soffermarsi un po' su questo “oggetto” didattico così diffuso e chiedersi: che cos'è, dunque, un *problema*? Che cosa significa *risolvere un problema*?

Una bella risposta è data da una frase di G. Polya, che è opportuno riportare integralmente:

«Risolvere problemi significa trovare una strada per uscire da una difficoltà, una strada per aggirare un ostacolo, per raggiungere uno scopo che non sia immediatamente raggiungibile. Risolvere problemi è un'impresa specifica dell'intelligenza e l'intelligenza è il dono specifico del genere umano: si può considerare il risolvere problemi come l'attività più caratteristica del genere umano».¹⁴

Da un punto di vista storico e semantico, la nozione di problema ha vissuto vicissitudini meno complicate di quella di “numero”, e il ripercorrerne le radici etimologiche rappresenta un percorso più semplice. Nel suo *Dizionario della Lingua Italiana*¹⁵ Tullio De Mauro indica due accezioni:

1. problema filosofico: quesito di una certa importanza e difficoltà, questione controversa che può dare adito a soluzioni diverse.
2. problema matematico: quesito da risolvere mediante la determinazione di uno o più enti, partendo da elementi noti e condizioni fissate in precedenza.

¹³ I principi metodologico – didattici dell'educazione matematica – Umberto Tenuta in Tenuta, U., *L'attività educativa e didattica nella scuola elementare* – La Scuola BS 1989; anche la successiva definizione di Polya è tratta dal medesimo contributo.

¹⁴ Polya, G., citato da Tenuta, U. *ibid.*

¹⁵ De Mauro, T., *Il dizionario della lingua italiana* – Ed Paravia, Torino (2000)

Non c'è forse studioso della didattica della matematica che non si sia impegnato nella ricerca sulla risoluzione dei problemi; ed anche in questo caso, ciò avviene con riferimento a tutti i livelli scolastici.

Per cui, rispetto ai “problemi con i numeri naturali”, occorre sottolineare che **la struttura dei numeri naturali** comprende sia l'insieme, sia le operazioni sugli elementi dell'insieme. E riguardo a questo, anche per non far nascere idee e modelli sbagliati nei bambini che poi sarebbe difficile modificare negli anni successivi, occorre che anche tutti gli insegnanti abbiano chiaro che sotto il nome "operazioni" vengono mescolati nel linguaggio corrente almeno tre problemi distinti:

- **l'operazione in senso matematico**, cioè la regola che a due numeri ne associa un terzo (ad esempio, $15+37=52$);
- **l'insieme di situazioni e problemi** che vengono risolti mediante una stessa operazione (ad esempio, "ho 15 mele e ne compro altre 37; quante ne ho in tutto?";
- "Pierino pesa 15 chilogrammi in più di Giuseppe, che ne pesa 37; quanto pesa Pierino?"; etc.). Si noti che spesso problemi molto differenti concettualmente vengono risolti dalla medesima operazione.
- **l'algoritmo** attraverso cui viene eseguita l'operazione (ad esempio la procedura attraverso la quale, scrivendo i numeri 15 e 37 in colonna, si arriva a scrivere 52 nella riga finale).

In riferimento all'uso dei numeri e alla ricerca di adeguati algoritmi, ancora De Mauro definisce i problemi matematici con quattro diverse accezioni:

- a) problemi determinati: quelli che contemplano un numero finito di soluzioni;
- b) problemi indeterminati: quelli che contemplano un numero infinito di soluzioni;
- c) problemi impossibili: quelli il cui enunciato presuppone accordo tra elementi incompatibili;
- d) problemi irrisolvibili: quelli per cui si dimostra, attraverso algoritmi, che non vi sono soluzioni¹⁶

¹⁶ Se per la distinzione tra problema determinato e indeterminato la definizione è sufficiente, merita un approfondimento la distinzione tra “problema impossibile” e “problema irrisolvibile”. Ad esempio: la domanda “dividere per zero il numero n rappresenta un problema impossibile, in quanto non vi è accordo tra l'elemento “algoritmo della divisione” e “divisore zero”; la medesima domanda, diversamente posta, dà la definizione di “problema irrisolvibile”, dimostrando come la divisione per zero non accetti soluzioni.

Si diano due numero a e b , posti come uguali $a=b$; si applichi la proprietà “moltiplicando per la stessa quantità i due termini di un'uguaglianza, la medesima uguaglianza viene rispettata”, e si moltiplichino arbitrariamente i due termini per la quantità a : ne risulta $a^2=ab$; si applichi la proprietà “sommando la stessa quantità ai due termini di un'uguaglianza, la medesima uguaglianza viene rispettata”, e si sommi $-b^2$; ne risulta $a^2-b^2=ab-b^2$; scomponendo i termini noti e raccogliendo i fattori comuni, risulta $(a+b)(a-b)=b(a-b)$; dividendo ambo i termini dell'equazione per $(a-b)$ risulta $a+b=b$. Se, come posto all'inizio, $a=b$ (ad esempio) 1, risulterebbe che $2=1$, che è chiaramente impossibile. Se i due termini sono uguali, il divisore $a-b$ è zero, il che dimostra, attraverso l'irrisolvibilità, l'impossibilità di dividere per una quantità nulla.

Il “Grande Dizionario della Lingua Italiana”¹⁷ indica un significato particolare, assimilando il problema a un indovinello, un enigma, un mistero. Questa accezione diventa particolarmente interessante se giustapposta all’etimo latino del termine, *pro-ballein*,¹⁸ letteralmente “mettere innanzi, gettare”, che è straordinariamente simile a quella di *pro-iacere* “gettare in avanti”, origine della parola “progetto”, concetto tanto importante per la pedagogia, compresi i diversi livelli di rischio e aleatorietà.

LA NOZIONE DI “ALGORITMO” E LA NOZIONE DI “EURISTICA”

Per spiegare efficacemente la nozione di algoritmo ed euristica, sia da un punto di vista formale, sia da un punto di vista concettuale, cerchiamo di esplicitare la relazione esistente tra soluzioni e risultati, ai quali algoritmi ed euristiche sono logicamente connessi.

Si consideri la seguente tabella di correlazione:

| | |
|-----------|-----------|
| SOLUZIONE | RISULTATO |
| EURISTICA | PROCEDURA |
| STRATEGIA | ALGORITMO |

Al concetto di **soluzione** è legato quello di **euristica**, cioè un processo di scoperta della soluzione da adottare, e **strategia** (processo di stesura di piani per affrontare il problema). Sul versante dei **risultati**, abbiamo uno stretto legame con le **procedure risolutive** (programmi o protocolli applicativi delle euristiche e delle strategie) e con gli **algoritmi** (procedure sequenziali che, dopo un numero finito di passi, raggiungono il risultato).

A titolo di ulteriore esempio, la ricerca di una **soluzione** porta come esito la produzione di un **risultato**; l'**euristica** porta alla scoperta di una **procedura efficace**, cioè “porta al risultato”; l'**algoritmo**, porta ad una **strategia efficiente**, cioè “porta al risultato in un numero ragionevole (e finito) di passaggi”

¹⁷ Grande Dizionario della Lingua Italiana – Ed. U.T.E.T., 1981

¹⁸ Definizione tratta dal *Dizionario Etimologico della Lingua Italiana* – Ed. Zanichelli, Bologna 1999

2.3 Le psicopatologie del calcolo

Negli orientamenti della scuola dell'infanzia e della scuola primaria troviamo gli obiettivi a cui tendere per una corretta "educazione matematica": in questa sede vengono costruiti gli adeguati e necessari strumenti cognitivi ed esperienziali che permettono agli alunni l'accesso ai livelli superiori di istruzione.

Che cosa accade e perché quando tali indicazioni non sono raggiungibili? La ricerca delle cause e delle modalità didattiche di superamento del problema sono lo specifico della psicopatologia (cause) e didattica (modalità) del calcolo.

Da un punto di vista etiologico, le difficoltà di calcolo sono riconducibili ad almeno due grandi filoni, che analizziamo separatamente per la diversità di interventi che essi richiedono:

- cause endogene, o connaturate;
- cause esogene, o indotte.

Le cause endogene o connaturate dipendono da deficit cerebrale o corticale certificato, sono per cui annoverabili tra le cause organiche (traumi cranici, lesioni di diverso ordine e grado, ictus, ecc.); tali cause necessitano di un intervento riabilitativo di tipo terapeutico, e talvolta determinano condizioni di difficoltà tali da non essere potenzialmente superabili.

Le cause esogene o indotte comprendono situazioni traumatiche o patologiche, ma sono il frutto di un blocco di tipo educativo/evolutivo nell'apprendimento dei successivi livelli di astrazione; in questa seconda accezione, l'intervento può basarsi sul solo studio di una didattica alternativa adeguata.

Vediamole in dettaglio:

CAUSE ENDOGENE

Da un punto di vista diagnostico si parla di:

- anaritmetria: deficit primario di calcolo corrispondente ad una compromissione dei processi di calcolo;
- acalculia alessica e/o agrafica: disturbo attribuibile a deficit specifici di lettura e scrittura dei numeri;
- acalculia spaziale: disorganizzazione spaziale del calcolo scritto.

Da un punto di vista semantico, la "a" privativa indica la totale assenza di tali abilità; in quanto tale si distingue dalla dis – calculia, come fenomeno di distorsione dei processi di calcolo.

Le cause endogene di difficoltà nel calcolo implicano lesioni nel lobo parietale sinistro, area cerebrale che sembra essere fondamentale per i numeri. Al confine con il lobo occipitale, nella parte posteriore del cervello, sito dei principali sistemi di elaborazione visivi, e il lobo temporale (sito della maggior parte delle attività di elaborazione linguistica e di memoria semantica) dovrebbe trovarsi il “modulo numerico”, l’insieme delle cellule che garantisce un minimo di capacità matematica.¹⁹

In definitiva, da un punto di vista neurologico i disturbi di calcolo da cause endogene sono imputabili a lesioni specifiche o combinate tra:

- abilità visive;
- linguaggio (sia come comprensione, sia come produzione)
- memoria semantica;
- memoria operativa.

CAUSE ESOGENE

Le cause esogene, da un punto di vista diagnostico, sono riconducibili a vario titolo al generico problema delle dislessie.

La dislessia, o disturbo specifico di apprendimento, contempla in dettaglio:

- dislessia;
- disortografia;
- disgrafia;
- discalculia.

Nello specifico, la discalculia evolutiva è la difficoltà nei compiti numerici e aritmetici di base, come il leggere o lo scrivere i numeri, eseguire calcoli a mente o per iscritto. Si manifesta in bambini di intelligenza normale, senza danni neurologici.

Secondo il DSM IV il bambino discalculico ha capacità di ragionamento matematico al di sotto di quanto previsto per età, istruzione, intelligenza, come descritto negli “Orientamenti Ministeriali della Scuola”. In secondo luogo tali difficoltà interferiscono con gli apprendimenti scolastici e con la quotidianità. La discalculia evolutiva non insorge dopo adeguato apprendimento, ma è un fenomeno che accompagna l’apprendimento: in questa accezione, l’attenzione alla prassi didattica è assolutamente fondamentale.

Il bambino discalculico presenta difficoltà, specifiche o combinate, di tipo:

- a) linguistico: comprendere e nominare termini e operazioni;

¹⁹ Borella, G.P., *Ecco dove nascono i numeri*, Ed. Mondadori, Milano 1999

- b) percettivo: riconoscimento di segni e simboli;
- c) attentivo: copiare correttamente, ricordare i riporti;
- d) matematico: contare, ordinare, cardinare, seriare.

Nei bambini affetti da tale disturbo, discalculia e dislessia possono (anche se non necessariamente) essere compresenti; in tal caso si configura come un particolare problema di decodifica del codice linguistico.²⁰

Nello specifico del nostro lavoro di insegnanti e di educatori, tale trattazione diagnostica merita un momento di attenzione: le indicazioni date dal DSM IV e il loro confronto con gli orientamenti per la scuola dell'infanzia e primaria sono certamente utili per anticipare un certo quadro analitico, e servono come "cartina al tornasole" per prendere consapevolezza rispetto alla presenza o meno di un eventuale problema. Ma in ogni caso non sono mai sostitutivi di una diagnosi approfondita che, in quanto tale, deve essere fatta solo tramite la somministrazione di prove oggettive e strutturate da parte dei professionisti preposti, la cui consulenza e presenza in sede riabilitativa o rieducativa è assolutamente necessaria.

Solo dopo una corretta diagnosi psicologica e/o neurologica abbiamo, come educatori, gli elementi necessari per procedere ad una corretta diagnosi pedagogica. La diagnosi pedagogica si articola in due momenti successivi: in primo luogo in termini di conoscenza e consapevolezza del processo evolutivo necessario al raggiungimento dell'obiettivo; in secondo luogo come lettura comparata delle diverse diagnosi al fine di collocare correttamente la persona in un punto preciso del processo evolutivo.

Solo dopo un'attenta diagnosi pedagogica è possibile parlare di prognosi sul piano didattico, in termini di strategie e di azioni mirate da adottare per il raggiungimento dell'obiettivo.

A ciascuno il proprio lavoro, giova sempre ricordarlo...!

2.4 Alcuni modelli riabilitativi

La psicopatologia del calcolo, e della matematica in generale, assume la connotazione di una materia di studio da parte della ricerca universitaria solo a partire dagli anni '90 del secolo scorso,

²⁰ Biancardi, A., Marieni, E., Pierotti M., *La discalculia evolutiva: dai modelli neuropsicologici alla riabilitazione*, Ed. Franco Angeli – Milano 2003

nonostante la riflessione in merito conti almeno un ventennio di storia pregressa, fatta di ricerche e interventi per situazioni del tutto particolari.

La letteratura in materia è ancora abbastanza povera, sia per la relativa “giovane età”, sia per le peculiarità della casistica in esame, così come sono relativamente poche le persone che se ne occupano. Le origini e lo sviluppo della psicopatologia del calcolo portano in sé un capitolo importante della storia dell’evoluzione del pensiero scientifico dell’ultimo trentennio: nata informalmente come ricerca di “buone prassi” per la soluzione di problemi specifici, assume connotazioni di astrazione e generalizzazione solo con l’avvento degli studi di psicologia dell’apprendimento e di neurologia. Allo stato attuale, i modelli ascrivibili alla ricerca psicologica e clinica danno degli approfonditi e articolati modelli diagnostici, mentre la ricerca delle nuove “buone prassi”, che ora potremmo chiamare legittimamente “ricerca/azione”, giungono dallo specifico della ricerca pedagogica, materia, ora più che mai, alla ricerca del dialogo interdisciplinare con le altre scienze per la promozione dell’incremento di sviluppo umano, non di aspetti specifici, ma della persona tutta.

La trattazione che segue, nel presente paragrafo, cerca di illustrare i modelli di analisi e riabilitazione più noti e diffusi, allo scopo di fornire una prima traccia della loro logica interna, nonché di evidenziare tanto le peculiarità proprie ad ogni modello, quanto le complementarità di diagnosi e intervento.

Un’indicazione particolare merita il modello di Mc Closkey, che qui è solamente tratteggiato nei suoi parametri definitori: la trattazione esaustiva del modello e delle relative applicazioni all’ambito della cecità sono riservate al capitolo successivo.

Il sistema di calcolo e il sistema numerico: il modello di Mc Closkey

Da un punto di vista didattico in generale, le abilità di calcolo si basano su:

1. sistema dei numeri
2. sistema di calcolo

Sono due sistemi funzionalmente indipendenti da un punto di vista neurologico, ma solo la cui unione permette la corretta esecuzione delle procedure matematiche.

In dettaglio, il sistema dei numeri fa riferimento alla percezione simbolica della retta dei numeri naturali; mentre il sistema di calcolo si compone di tre abilità distinte e non gerarchiche:

- a) accesso diretto a risultati semplici (i cosiddetti “fatti aritmetici”); sono un esempio di “fatto aritmetico” il risultato delle tabelline

- b) attribuzione della procedura di calcolo al segno corrispondente (che cosa fanno gli operazionali +, -, x, /);
- c) applicazione della procedura di calcolo (cosa e come fare per _).

Se usati con intelligenza, ovvero non in modo sostitutivo al ragionamento, la calcolatrice e gli altri supporti automatici sono sempre un buon aiuto nel sistema di calcolo, ma solo dopo che è stata chiarita la procedura: sono d'ausilio, ma non sono mai sostitutivi.

Il modello del triplo codice

Il modello precedente di Mc Closkey, Caramazza e Basili è generalmente riconosciuto come il più completo e complesso; per comparazione se ne aggiunge un altro, detto del “triplo codice”, che per alcuni aspetti si rifà a quello precedente; le considerazioni che vi vengono riportate e i relativi esempi sono solo esemplificazioni ulteriori rispetto ad una metodologia caratterizzata da una logica simile; di conseguenza, gli esempi riportati hanno solo valore didattico relativamente alla presente trattazione, e non costituiscono reali parti di un metodo, che in realtà è tutto da costruire in base alla conoscenza del contesto.

Tale modello prende il nome dalle tre linee riabilitative su cui si fonda:

1. linea dei numeri
2. transcodifica numerica
3. transcodifica semantica

In dettaglio:

Linea dei numeri

Prende origine dal modello rappresentazionale dei numeri di Dehaene: l'apprendimento parte dalla conoscenza dei numeri primitivi in base dieci (da 0 a 9) e dalla conoscenza delle regole di produzione di tutti gli altri numeri; da un punto di vista sintattico, tali regole variano da lingua a lingua. Per cui l'abilità di contare richiede:

- a) abilità di memoria a lungo/breve termine;
- b) abilità attentive.

I bambini discalculici hanno molte difficoltà nel conteggio all'indietro.

Alcuni esempi di esercizi proponibili per consolidare la linea dei numeri:

- 1) la figura nascosta: da svelare tramite una linea che segue una sequenza di numeri, sull'esempio dei giochi enigmistici;
- 2) immaginare e disegnare la retta dei numeri;

- 3) dato un certo numero di tessere numerate di un puzzle, comporre correttamente la figura seguendo l'ordine dei numeri dato;
- 4) esercizio del bersaglio: è un dialogo tra insegnante ed alunno, per raggiungere il bersaglio; ad esempio se il "bersaglio" è il numero quindici, il dialogo potrebbe svolgersi come segue:
 - a. Maestro: il bersaglio è quindici, io dico uno;
 - b. Alunno: due, tre, quattro.
 - c. Maestro: cinque
 - d. Alunno: sei, sette, otto, nove.
 - e. Maestro: dieci
 - f. Alunno: undici, dodici, tredici
 - g. Maestro: quattordici
 - h. Alunno: quindici! Ho vinto!!

Tale esercizio si può fare anche all'indietro

- 5) Trovare l'errore in una sequenza numerica: il maestro propone una sequenza di numeri che contiene un errore, che il bambino deve trovare.

Transcodifica numerica

Nel codice arabo le cifre hanno valore differente a seconda della posizione; ciò non accade in codice alfabetico, dove vigono le regole della sintassi. Questa diversità di regole crea problemi di transcodifica. I bambini discalcolici possono avere problemi linguistici legati alla transcodifica, concretamente nel dettato dei numeri e nella loro scrittura. Ad esempio il numero duemilaotto può essere scritto "208" (errore posizionale), oppure il numero milleottocentododici può essere scritto "1512" (errore di codifica).

Tra gli esercizi proponibili per i problemi di transcodifica:

- a) la struttura sintattica del numero: ad esempio il numero 587 è scomposto in tre cartoncini che riportano il numero 500, il numero 80, il numero 7, con pronuncia verbale di ognuno, poi i tre cartoncini vengono sovrapposti lasciando visibile la parte significativa.
- b) Individuare tutti i numeri dello stesso ordine di grandezza: dati dieci numeri di tre cifre, tra 100 e 999, individuare tutti quelli appartenenti a una centinaia, due centinaia, tre, ecc... E' proponibile anche in seconda battuta con le cifre di valore posizionale intermedio (decine ed unità)
- c) Numeri di ordine di grandezza differente, da incolonnare correttamente.

- d) Lettura semplice dei numeri, a voce alta (associazione suono/simbolo)
- e) Lettura, scrittura e riconoscimento dei numeri in codice arabo e in scrittura alfabetica (esercizio di transcodifica diretta e inversa, per il pensiero reversibile).

Transcodifica semantica

Per transcodifica semantica si intende:

- 1. rappresentazione mentale della quantità evocata dal numero;
- 2. collocazione sulla linea dei numeri.

L'unione delle due abilità citate ai punti precedenti dà il significato di un numero.

Alcuni esempi di esercizi e attività proponibili per il consolidamento della transcodifica semantica:

- a) dati tre numeri, indicare il più piccolo, o il più grande.
- b) Esercizio delle inserzioni: collocare il numero mancante in una sequenza logica (serie) di numeri, esempio, 300, [...], 302, 303, [...], 305, ecc...
- c) Le pagine del libro: con un libro qualunque, trovare la pagina richiesta dall'insegnante.
- d) La stima del numero: colloca visivamente il numero 80 sulla retta numerica

a. 0----- 50-----100

oppure

b. 0-----500-----1000

Calcolo mentale

Il calcolo mentale è strettamente correlato al linguaggio: le lingue europee complesse sono meno adatte di quelle asiatiche, che sono sintatticamente più semplici. Il calcolo mentale nelle lingue europee implica più memoria. È una delle fonti di maggiori problemi dei bambini discalculici da un punto di vista della produzione di fatti aritmetici.

Strategie per acquisire fatti aritmetici

Alcuni esercizi proponibili:

- a) reiterazione delle tabelline, a filastrocca, ma per tempo breve, poiché esiste il rischio di una repentina saturazione (approccio logopedico).

Strategie per l'aumento dell'efficienza del calcolo mentale

Alcuni esempi:

- a) uso delle dita nella rappresentazione.
- b) uso della tavola pitagorica.

Calcolo mentale complesso

- scomposizione del problema in tappe successive (algoritmi e “flow – chart”, o diagrammi di flusso)
- calcoli per arrotondamento ed approssimazioni successive; ad esempio: $48 - 19 = (48 - 10) - 9$

Errori nel calcolo scritto

1. selezione dell'algoritmo;
2. conoscenza della procedura di calcolo;
3. esecuzione del calcolo.

Un esempio classico di errore nel calcolo scritto è la “sottrazione invertita”, generata dalla mancanza di capacità di tenere a mente i riporti.

Strategie:

- attenzione alla procedura;
- metacognizione (ad esempio, in una sottrazione il risultato non può essere più grande del minuendo).

Sintesi

Vi sono quattro modi per intervenire sulla discalculia evolutiva:

1. intervento precoce con i bambini con difficoltà di lettura e scrittura.
2. intervento globale sulle difficoltà di processamento numerico e di calcolo.
3. training sulle abilità di transcodifica numerica.
4. training su componenti specifiche dei numeri e del calcolo e sugli strumenti compensativi.

Modello riabilitativo di B. Fazio²¹

A titolo di ulteriore esempio, si trova in rete questo modello, in parte simile ai precedenti, almeno nella logica riabilitativa:

²¹ Questo contributo è scaricabile liberamente da internet, presso il sito dell'università di Milano – Bicocca: www.unimib.it/psico/lab4/annuario2003.pdf

1. rappresentare le operazioni attraverso materiale concreto o immagini.
2. relazioni tra lessico aritmetico e concetti aritmetici (ad esempio la reciprocità tra la moltiplicazione e la divisione)
3. suggerire strategie per superare le difficoltà nei fatti aritmetici (guidare alla costruzione di algoritmi)
4. quali diversi modi di recuperare i fatti aritmetici (immagini mentali, catene causali, ecc...)
5. invarianze funzionali: rendere stabili le procedure per l'esecuzione dei calcoli;
6. comprese le componenti concettuali e procedurali di una certa operazione, promuovere l'uso della calcolatrice.

Le difficoltà visuospatiali

Anche le abilità visuospatiali hanno un ruolo notevole sulla risoluzione dei calcoli aritmetici, Innanzitutto, un problema percettivo nel «dettaglio visivo» colpisce facilmente il riconoscimento dei segni di operazione (anche se più spesso la causa sta nella scarsa comprensione semantica del segno, cioè del tipo di operazione da farsi). La difficoltà visuospatiali può trovarsi a diversi livelli di organizzazione dei dati nella scrittura di un'operazione: se un bambino ha difficoltà ad acquisire i concetti «da destra a sinistra», «dal basso verso l'alto», ecc., presumibilmente incontrerà maggiori difficoltà nell'incolonnamento dei numeri e nel seguire la direzione procedurale, in senso sia orizzontale che verticale. Questa confusione spaziale è facilmente riconoscibile perché porta a far iniziare a caso un'operazione, a scrivere indifferentemente da sinistra a destra, o viceversa i risultati parziali, quindi a sorvolare sulle regole di prestito e riporto. Naturalmente, tali difficoltà visuospatiali lasciano integri i processi di calcolo orali.

2.5 Errori matematici ed emotività

Il presente contributo, di sapore più letterario che didattico, è tratto dal testo “Matematica... mio terrore” della pedagoga francese Anne Siety²², edito in Italia per i tipi dell'editore Salani in Milano. Dopo la digressione metodologica fatta nelle pagine precedenti, la presente parte è indicativa di un ulteriore problema nell'affrontare la matematica, quello della sua percezione emotiva.

²² Siety, A., *Matematica... mio terrore!* – Ed Salani (Milano, 2000)

Che significato riveste la collocazione di tale contributo alla fine del presente capitolo?

L'emotività in matematica "gioca degli scherzi" sottili e perversi, che spesso vengono trascurati perché è difficile analizzarli con strumenti di tipo quantitativo, quali i test e i protocolli di osservazione; traspare invece nel rapporto con l'insegnante, che dovrebbe essere portato a consapevolezza rispetto all'entità di tali blocchi, in modo da poterli prevenire grazie ad una relazione significativa con gli alunni, specie con quelli in difficoltà.

L'opportuna valutazione di questa ulteriore sfaccettatura della discalculia dovrebbe promuovere il docente di matematica ad una maggiore umanizzazione di una materia considerata troppo spesso arida, e nel contempo fornire gli educatori di professione di criteri diagnostici ulteriori, le cui implicazioni didattiche saranno affrontate in seguito.

Lamentele: i miti matematici.

Blocco in matematica: come comprenderlo e a che cosa attribuirlo? Posta la domanda ad alcuni alunni, la risposta converge con sorprendente regolarità: non sono mai, o raramente, problematiche personali, di rapporto con la matematica; il motivo addotto è il suo carattere particolarmente ostico, o l'assenza di un non meglio precisato "bernoccolo della matematica". La causa è esogena, e la colpevole è la matematica stessa.

- La matematica è proprio disumana: nelle lettere dell'algebra non resta più la determinazione delle cifre dell'aritmetica, le quali non contengono più le qualità dei fiori o dei frutti addizionati. Ciò che è perduto nelle lettere del calcolo letterale, nell'astratto della matematica, è più di un qualsiasi oggetto della vita comune: sarebbe la persona umana, o forse il concreto che la caratterizza, il corpo umano. [...] L'esercizio è terminato. Non è stata pronunciata alcuna parola. Il discorso non trova posto. Per molti alunni fare matematica significa restare muti. Le parole non vi hanno nulla a che vedere; possono soltanto allontanare da essa. Se è vero che l'uomo è una creatura con il dono della parola, la matematica sarebbe disumana nel suo svilupparsi senza esigere l'uso di una sola parola. Parlare, commentare, spiegare sarebbero tentativi superflui, ineleganti, tutt'al più degni di dilettanti incalliti. Questa reputazione d'incompatibilità fra matematica e parole contribuisce talvolta al rifiuto del calcolo letterale [...]. I dizionari etimologici indicano alla parola *cifra* una doppia etimologia: la più recente risale al XV secolo, e si tratta di una scrittura segreta; la seconda deriva dal latino medievale, e cifra significa "zero", dall'arabo *sifr*, "vuoto" [...]. Come può una disciplina scolastica scatenare questa fascinazione, questa implicazione di tutta la persona? Forse si tratta degli effetti prodotti dalla scrittura

degli adulti osservata da un bambino. Nei suoi primi anni non può capirla: essa segna così l'accesso, per il momento impossibile, al mondo degli adulti. Le parole, poi gli scritti, collocano il bambino sul limitare di un universo: è una scelta di vita fondamentale con cui deciderà di entrarvi oppure no. Così i geroglifici matematici devono forse il loro effetto sorprendente alle risonanze da essi provocate da un rapporto arcaico con la parola [...]. Le parole pronunciate in matematica non sono nemmeno più cifrate: sono percepite come vuote. È così che gli alunni in difficoltà “conoscono” spesso la loro lezione: possono recitarne il contenuto, come reciterebbero senza capirla una preghiera in latino. Hanno “capito” nello stesso modo gli esercizi fatti in classe: ne tengono a mente la parola – chiave, che costituisce altrettanti stimoli. A ciascuno di questi stimoli propongono la risposta più verosimile, cioè quella che, nelle correzioni fatte in classe, è apparsa con maggior frequenza. Tale tipo di “comprensione” è suscettibile di produrre buoni voti al momento degli esami: il risultato di questa fatica può confondere l'insegnante, troppo contento di scoprire una risposta “giusta” in un compito – o troppo stanco – per assicurarsi che questa risposta corrisponda ad un vero ragionamento personale. Questo modo di procedere richiede all'alunno un estenuante lavoro statistico, e la sua maggiore o minore riuscita dipende dalle sue facoltà d'osservazione e dalla paziente perseveranza [...]. Disumana la matematica lo sarebbe anche perché non autorizza alcuna fantasia: un dato esercizio richiederebbe un modo di soluzione unico, predeterminato quasi riga per riga. Allontanarsene comporterebbe inevitabilmente lo sbaglio. Una volta di più l'argomento decisivo sta nella contrapposizione tra letterario e scientifico. Come se la matematica, per sua natura estranea alle materie cosiddette letterarie, potesse distinguersi solo per le caratteristiche che le siano contrarie. Come le lettere sono ospiti indesiderabili nei calcoli, la libertà, inerente al lavoro letterario, sarebbe, proprio per tale ragione, esclusa dalla matematica.

- Disumana... o troppo umana?: nella prima infanzia il bambino gioca con le dita. È la prima nozione che ha del proprio corpo. Poi tocca tutto per fare conoscenza con il mondo, e soprattutto con le sue mani. Un giorno un maestro, credendo di far bene e volendo che la matematica sia astratta al massimo, vieta al bambino di contare con le dita; senza rendersene conto, vieta il corpo al bambino, e vieta ogni associazione del suo corpo con la matematica [...]. La “base dieci” – scrive Ifrah – ha avuto una fortuna assolutamente eccezionale. Perché la maggioranza delle civiltà umane ha optato per questa base, che da un punto di vista strettamente matematico non è necessariamente la

più coerente? Facile da indovinare: se la natura avesse dato sei dita ad ogni mano, la maggioranza delle numerazioni della storia sarebbero state fondate in base dodici [...]. Il discorso matematico è talvolta impedito non da un vuoto, un silenzio, un'assenza di significato, ma da un eccesso di significato [...]. Più che assente, la fantasia è onnipresente. Di continuo i termini matematici ridestano interrogativi, emozioni, evocano immagini varie. La fantasia che emerge dalla matematica non sembra costituire una distrazione. Queste immagini, queste emozioni non sono ospiti indesiderabili che allontanano dalla via scientifica. Esse fanno parte integrante della matematica. Non ci si meraviglierà, quindi, che questa vi attinga buona parte del suo vocabolario [...]. Così è possibile che la difficoltà della matematica stia non nel fatto che essa non riguarda l'essere umano, ma nel fatto che essa lo tocca molto da vicino. Facendo matematica si è sollecitati nel proprio corpo, nella propria parola, nella propria immaginazione, nelle proprie emozioni. Si è sollecitati in quanto si ha di personale, di profondo, talvolta di mal conosciuto, o di sconosciuto a se stessi. Per chiudersi la strada della matematica non c'è niente di più efficace che negare quell'essere profondo, quell'ignoto presente in noi, che vibra al ritmo di questa disciplina. Quindi si tratta di inventare una pratica che consenta di riconoscerlo, di accoglierlo, di attingere da esso l'energia per capire la matematica.

- Il professore di matematica, questo sconosciuto: in buona posizione fra le lamentele d'alunni ed ex alunni che conservano un ricordo doloroso della matematica, si trova la figura dell'insegnante. Gli alunni dicono che avrebbero potuto capire... se solo fosse stato spiegato loro correttamente ciò di cui si trattava. A sentire molti di loro, il professore non avrebbe assolto il suo compito in maniera soddisfacente [...]. In che cosa il professore di matematica si presta alla costruzione di questo mito? Non è impossibile che il fantasma degli attacchi fisici trovi le sue origini nella tesi che la matematica, costruita partendo dal corpo, sia oggetto di una pratica che nega ogni esistenza a quest'ultimo. Si può immaginare che questa repressione costituisca una violenza subita dall'alunno senza che ne sia consapevole. L'attribuirebbe al professore di matematica, vissuto inconsciamente come l'autore di questi attacchi somatici [...] si accorge di aver sempre agito, fino ad allora, *come se la sua professoressa di matematica leggesse nei suoi pensieri* [...]. La questione riguarda più il modo in cui si stabilirà il contatto con i suoi alunni, e la loro capacità di elaborare una relazione costruttiva venendo a patti con questo contesto fantasmatico intenso.

- “Nullo” in matematica?: dopo la natura disumana della matematica e l’incompetenza degli insegnanti, appare un terzo colpevole, che emerge in modo più confuso dei precedenti. Si tratta della “nullità”. Se si hanno delle difficoltà, dei blocchi in matematica, è perché si è “nulli” [...]. Il nullo esclude subito l’idea che gli alunni bravi possano sbagliarsi. E, afflitto da tale spettacolo, rinuncia subito ad impegnarsi al massimo delle proprie capacità. Non tenta nemmeno, perché è “nullo”! E quando il sedicente nullo si sorprende a capire una lezione di matematica, a risolvere esattamente un esercizio, o a ottenere un buon voto, ci tiene molto a precisare che si tratta di un’anomalia. L’esercizio era troppo facile; la lezione faceva riferimento a nozioni affrontate l’anno precedente e non conteneva niente di nuovo; il controllo verteva proprio su un punto che il nullo, per pura coincidenza, aveva rivisto con cura il giorno precedente. Non demorde. Se, per lo spazio di un attimo, ha dimenticato di essere nullo, afferma che le cose ritorneranno presto alla normalità: non capirà la prossima lezione, prenderà di nuovo dei brutti voti [...]. Quando compie dei progressi, il nullo in matematica perde talvolta più di una posizione sicura e senza rischi. In realtà la “nullità in matematica” può costituire un elemento importante nella relazione con l’altro, e appare talvolta come un autentico appoggio identitario [...].

Vivere la matematica:

Sembra un bel programma... ma come attuarlo? Non esiste un metodo assoluto, alcun modello unico e infallibile. Ogni alunno è unico, e richiede un approccio originale.

- Prendere corpo: Georges Ifrah nella sua *Storia universale dei numeri* ci ricorda che il termine “calcolo” deriva dal latino *calculus*, che significa “sassolino”: è con questi sassolini che greci e romani insegnavano ai loro figli a contare. Tali sassolini sono stati ritrovati in piccoli orci risalenti al IV millennio a.C., come mezzi di registrazione concreta per diverse operazioni di contabilità nella società Sumera: servivano a contabilizzare le pecore di un gregge prima della partenza del pastore, introducendo nell’orcio un numero di sassolini pari al numero dei capi di bestiame. Costituivano così una contabilità funzionante simultaneamente su due modi: scrittura per contabili letterati e conto concreto per pastori analfabeti. Progressivamente gli orci sono scomparsi a beneficio delle sole iscrizioni su pani d’argilla: hanno assicurato una transizione tra la matematica concreta e un approccio astratto. L’astrazione non è sorta all’improvviso, la si è dovuta costruire [...]. Restituendo al corpo il suo ruolo fondamentale nell’avvento del pensiero matematico, si produce un effetto estremamente importante. Queste manipolazioni, questi movimenti nello spazio,

questa presa in considerazione del corpo richiedono agli alunni un certo coraggio. Spesso rifiutano questo modo di procedere: contare con le dita, manipolare della plastilina, “fa bambino piccolo” [...]. Tuttavia, se un alunno rifiuta categoricamente tali tipi d’approccio, è fondamentale si debba rispettare la sua posizione: si tratta delle sue personali apprensioni, non si sente in grado di usare il proprio copro per far funzionare il pensiero. Il corpo non è un fine a sé, ma viene sollecitato per costruire concetti, elaborare nozioni astratte. La matematica forma così il limite protettore: essa garantisce contro gli eccessi, rassicura l’alunno sul fatto che non tutto è possibile.

- Usare parole chiare: riprendere a fare matematica con gli elementi lessicali del quotidiano, anche attraverso dei giochi o delle simulazioni (ad es. “spiega per telefono che cosa sono due angoli adiacenti”); per gli alunni in difficoltà il gioco termina da solo nell’istante stesso in cui la nozione su cui si lavora si chiarisce. Si possono inventare molteplici variazioni di questo spirito: dei giochi che permettano di interessare gli alunni, di incuriosirli, di divertirli senza per questo destabilizzarli. Sotto la loro apparenza ricreativa, essi consentono agli alunni di riconoscere e di accettare l’esistenza di quei momenti difficili che la matematica fa vivere, momenti durante i quali ci si sente bloccati, incapaci di andare avanti.

L’inconscio all’opera: strutture matematiche, strutture psichiche

Quando si chiama l’umano alla riscossa nella pratica della matematica, è gioco forza constatare che vi si trova già; si è convinti di inventare, di introdurre l’umano in un campo in cui è assente, e ve lo si incontra, ben sistemato. Immaginando dei racconti per illustrare una nozione matematica, ci si accorge che tale nozione è già abitata, intrecciata con una storia che appartiene soltanto al soggetto. Così appare escluso che si resti in superficie se si tenta di aiutare un alunno a sciogliere i suoi blocchi in matematica.

- la matematica, scienza della separazione: il passaggio da un supporto concreto ad un’idea astratta non costituisce una separazione definitiva. La transizione da “cinque dita” verso la nozione di “cinque”, da un dato numero verso la lettera che lo sostituisce nel calcolo letterale può avvenire soltanto in un gioco di andata e ritorno incessante. Anche se non ci si guarda sistematicamente la mano per contare, vi si può lanciare un’occhiata ogni tanto... si sa che è lì, o per lo meno, che è stata lì. La sua presenza o il suo ricordo sono disponibili, e il pensiero è tanto più libero dato che il suo rapporto non cessa di esistere,

sotto una forma o sotto l'altra [...]. Questo movimento d'andata e ritorno fa pensare al gioco cui si dedica il nipotino di Freud (in *“Al di là del principio del piacere”*, 1920); forse un simile gioco è mancato, nella loro prima infanzia, ad alcuni alunni che in un certo qual modo non possono decidersi a veder sparire il loro “rocchetto matematico”. È possibile che manchi a questi alunni l'esperienza dell'alternanza sparizione – riapparizione. Tale esperienza potrebbe rassicurarli sulla sorte del supporto, e convincerli che non sparirà per sempre se se ne separano per un attimo per pensare in sua assenza [...]. La matematica è il padre...: la funzione paterna, permette questa separazione. Il bambino deve rinunciare a ritenersi l'unico oggetto del desiderio della madre. È aiutato in ciò dall'uomo verso cui si rivolge costei.

- Il corso del tempo: l'apprendimento per rivoluzioni successive sembra tipico della matematica. Si immaginerebbe che l'apprendimento di una nuova parola privi gli alunni dell'uso di un altro termine in vigore per loro fino a quel momento? La successione di tappe che caratterizza l'apprendimento della matematica mi sembra più affine a quella che segna l'evoluzione del bambino. Per esempio, questi saprà successivamente strisciare, poi avanzare carponi, infine camminare. Giunto a tale stadio, conserverà questo modo di locomozione, e sarebbe sorprendente che vi rinunciassse per muoversi di nuovo a quattro zampe; non che non gli sia più possibile spostarsi così, ma si tratta di una tappa superata dalla sua evoluzione, anche se, fisicamente, è ancora in grado di farvi ricorso [...]. È così che la pratica della matematica è messa a confronto di continuo con la necessità di crescere. Ogni passo avanti costituisce una separazione, un allontanamento supplementare dalla situazione originaria. È così per il passaggio dall'addizione alla moltiplicazione, all'elevamento a potenza, alle equazioni con incognite.

2.6 Matematica e metacognizione

Quest'ultima parte è dedicata ad uno degli strumenti principe per la gestione dei problemi di discalculia, l'educazione alla metacognizione. Non è uno strumento didattico propriamente detto, ma il frutto di un vero e proprio processo educativo che insegna agli alunni ad acquisire consapevolezza rispetto al loro operare con i numeri. Una buona educazione alla metacognizione costituisce un valida “prova del nove” per l'efficacia dei processi di pensiero, poiché genera nel

bambino quel sano “dubbio metodico” che gli consentirà in futuro di operare una critica costruttiva rispetto alle scelte fatte, nonché di affrontare la matematica in modo consapevole e non banalmente subito o imposto.

Metacognizione, convinzioni e affettività²³

- L’approccio tradizionale alle difficoltà si concentra sulle conoscenze che l’alunno non possiede, di cui l’errore è il principale strumento di diagnosi.
- L’errore è elemento costruttivo se porta la persona alla consapevolezza del risultato: non imparare dai propri errori generalizza la “difficoltà”. È cruciale allora l’interpretazione del fallimento.
- Lo sviluppo d’abilità metacognitive implica la consapevolezza delle proprie risorse, e la regolazione del comportamento secondo tali risorse, in pratica l’attivazione di processi di controllo.
- Le convinzioni sulla matematica spesso influenzano le decisioni che il soggetto prende in sede di strategia risolutiva; la persona interpreta l’attività matematica nel suo complesso: la propria esperienza e quella dei compagni, l’interazione con il gruppo classe, insegnante e famiglia. La convinzione più disastrosa è che la matematica sia una disciplina incontrollabile: il soggetto rinuncia a qualunque controllo sul pensiero, sull’errore, sull’apprendimento. Deriva da uno scarso senso d’autoefficacia.

Matematica e metacognizione.

- Processi metacognitivi di:
 - Previsione: capacità di prevedere le difficoltà specifiche del compito e il proprio livello di prestazione;
 - Pianificazione: capacità di ordinare le operazioni necessarie a raggiungere lo scopo;
 - Monitoraggio: controllo, durante tutto lo svolgimento del compito, delle sottostanti abilità cognitive;
 - Valutazione: del risultato, della prestazione, delle strategie utilizzate.

²³ I presenti riferimenti si trovano in forma dettagliata nel testo di Cornoldi, C., Lucangeli D., *SPM, soluzione dei problemi matematici* - Ed Erckson, 1997

- Il docente diventa la guida esperta che accompagna l'alunno attraverso diversi livelli di competenza, fino alla completa autonomia, fornendo le spiegazioni necessarie, i feed – back, gli incoraggiamenti. L'alunno è autonomo quando applica da sé le strategie.
- Tale modo di operare è positivo anche in altri contesti di apprendimento.

Il ruolo dell'errore nell'apprendimento della matematica

- Il ruolo dell'errore nell'apprendimento della matematica è importante per la ricerca, e per cogliere alcuni aspetti occorre sbattere il naso contro la difficoltà;
- Si apprende solo ciò che si costruisce dentro di sé: l'insegnante conduce per mano l'alunno fino alla zona di sviluppo prossimale, poi lo aiuta a sistematizzare le conoscenze ma lascia che sia l'alunno a “fare”: è lui che deve superare le sue conoscenze e riequilibrare le nuove. Ma come procedere se l'alunno sbaglia? Due sono i rischi più frequenti:
 - o L'alunno crede di aver risolto il problema, e vive felice e inconsapevole del suo errore;
 - o L'alunno si blocca e dopo un po' si perde.
- In entrambi i casi c'è la tentazione di ricorrere alla pedagogia direttiva: “Dovevi fare così”, e si suggerisce la soluzione giusta. È particolarmente forte con gli alunni svantaggiati. Ma è falsa per tutti, anche per quelli in difficoltà. La situazione didattica è valida solo se porta con sé gli elementi autocorrettivi.
- Ostacoli: il linguaggio formale in matematica va bene finché si lavora con gli interi, fa acqua con i decimali, tracolla con l'algebra; è dovuto alla separazione tra segni e significati. Porta a incredibili rigidità: gli alunni finiscono col separare la propria capacità di ragionamento dai formalismi e dai meccanismi, che sembrano essere governati da regole misteriose. Le formule devono essere apprese come strumenti di pensiero e non come segni puri e astrusi.

2.7 L'arte di apprendere, ovvero: ritrovare il senso di meraviglia perduto

A parziale conclusione di questo capitolo giova riprendere la domanda originaria. La correttezza epistemologica e l'onestà intellettuale della pedagogia impongono di fare sintesi:

dal punto di vista “dei diversi punti di vista”, per quale motivo si è avuto bisogno di strutturare una psicopatologia del calcolo, e attraverso quali vie problematiche vi si è giunti?

In un suo saggio del 1981, che presagiva l'entità di tali questioni, Larocca²⁴ individuava le linee fondamentali de “L'arte di Apprendere”: si riprendono in questa sede le conclusioni di quel contributo, composte da dieci proposizioni sulle quali, secondo la proposta dell'autore, si cerca di riflettere, alla luce di quanto è accaduto in quasi un trentennio.

1. Per ogni nuovo apprendimento occorre un orizzonte omogeneo né troppo vicino né troppo lontano.

R: la matematica dovrebbe avvicinarsi maggiormente alla realtà della vita quotidiana, sia in termini di contenuti, sia in termini di didattica, abbandonando parte della sua presunta ma infondata elitarietà.

2. le singole parti di un contenuto vengono apprese se si comprendono i rapporti che le legano.

R: la risposta nelle parole di Max Wertheimer “la teoria della *forma* cerca di fare una distinzione tra aggregati-somma, da una parte, e *forme*, strutture, dall'altra, sia nelle sotto-unità che nel campo totale, e cerca di elaborare strumenti scientifici adeguati per investigare quest'ultimo. Non ammette che si applichi dogmaticamente a tutti i casi possibili ciò che è valido soltanto per aggregati frammentari. Si tratta di stabilire se una visione in termini staccati, attraverso connessioni alla cieca, sia adeguata o meno per interpretare i processi effettivi di pensiero, come pure il ruolo dell'esperienza passata. L'esperienza passata deve venir attentamente considerata, ma è in sé ambigua: finché viene intesa in termini ciechi e staccati non sarà mai la chiave magica che risolve ogni problema”²⁵

3. Ogni apprendimento opera un trasferimento metodologico su ulteriori apprendimenti.

R: da molto tempo gli educatori hanno sottolineato l'importanza della matematica nell'educazione: non per la sua utilità pratica per certe funzioni della vita, ma perché nella matematica abbiamo un materiale in cui è possibile lavorare in un modo meravigliosamente puro, andando direttamente all'intima coerenza dei materiali e delle operazioni²⁶

4. La tensione provocata dall'attesa facilita l'apprendimento.

R: Solo qualora la tensione dell'attesa è reale attesa di scoprire un risultato, e non mera produzione di ansia, come evidenziato nel saggio di Anne Siety

²⁴ Larocca, F., *L'Arte di Apprendere* - inserto a "Professionalità" n. 4, 1980-'81, pagg. 25-38

²⁵ Wertheimer, M., *Il pensiero produttivo* – Ed Giunti, Firenze 1965, pg 75 e succ

²⁶ Wertheimer, M., *Il pensiero produttivo* – Ed Giunti, Firenze 1965, pg 181

5. L'autogenerazione di nuovi contenuti è direttamente proporzionale alla differenza cognitiva e inversamente proporzionale alle dissonanze cognitive stabili.

R: la differenza cognitiva crea il bisogno di strutturare nuove strategie ed apprendimenti per la soluzione del problema, come teorizzato da Piaget; la dissonanza cognitiva genera solo scomodi stati emotivi che precludono a nuovi apprendimenti, come teorizzato da Festinger ed esplicitato esperienzialmente da Siety.

6. La motivazione esterna influisce debolmente sull'apprendimento.

R: la motivazione esterna allo studio della matematica è spesso generata dal mero assolvimento di un obbligo scolastico, o dal bisogno di colmare il *gap* che separa gli alunni discalculici da quelli con profitto normale, e pertanto si fonda spesso su un vissuto di inadeguatezza e frustrazione. In questa accezione è possibile parlare non tanto di influenza debole, ma di influenza negativa.

7. Ogni apprendimento provoca e prepara ad altri apprendimenti.

R: tale apprendimento permetterebbe di integrare la matematica all'apprendimento di ogni altra materia di studio, funzionale per lo sviluppo e la vita degli studenti, normosensoriali o meno. La stessa esistenza di una materia di studio come la "psicopatologia del calcolo" testimonia quanto lo studio della matematica sia spesso avulso da altre forme di apprendimento.

8. La ripetizione, come memoria, fa parte dell'apprendimento; l'oblio è la negazione del significato perché considerato insignificante nel mantenere la differenza cognitiva.

R: in matematica la ripetizione virtuosa è connaturata all'etimologia del termine *aritmetica*. Diventa perversa nel momento in cui la ripetizione diventa abitudine, trasformandosi da momento fondante l'apprendimento a cecità e impermeabilità alla considerazione di nuove *forme*

9. L'ovvietà è l'assenza della differenza cognitiva, e pertanto il più grande ostacolo all'apprendimento.

R: vale quanto esposto al punto precedente.

10. In ogni apprendimento, con la rappresentazione entrano in modi diversi tutte le altre funzioni dell'uomo.

R: ancora nelle parole di Wertheimer "un compito con la sua soluzione spesso non è una cosa a sé stante: può di nuovo funzionare come una parte che tenda a superare sé stessa, in un

campo più vasto. Questa è un'importante differenza, tra il pensiero pedante e quello che procede a grandi linee, una differenza che anche nella vita è di straordinaria importanza”²⁷

2.8 Conclusioni

In questa lunga e articolata seconda parte della trattazione si è cercato di sintetizzare il complesso discorso teorico attorno all'attuale ricerca in merito alla psicopatologia della matematica, a partire dai suoi elementi definatori, fino ai modelli riabilitativi che la psicologia e pedagogia hanno articolato nel corso di circa quindici anni di lavoro.

Nonostante si sia cercato di rendere l'esposizione più sintetica e ordinata possibile, ci si rende conto che la materia non è esente da una complessità insita e congenita che non ne rende facile l'accesso.

Si tratta di un passaggio obbligato: nel prosieguo molti elementi qui descritti e trattati verranno ripresi e contestualizzati alla realtà dell'ipovisione e della cecità, con la consapevolezza che solo tramite un apparato teorico così complesso si ha la possibilità di comprendere e di rendere ragione di molteplici e peculiari aspetti della discalculia in termini di privazione visiva.

Come ogni realtà complessa ha bisogno di una teoria robusta per comprenderne a fondo i diversi aspetti, così le difficoltà matematiche della persona priva della vista necessitano di un paradigma teorico sufficientemente articolato per poterne definire il quadro diagnostico, al fine di poter operare una prognosi educativa fatta di azioni concrete, mirate e falsificabili.

Com'ebbe a dire Kurt Lewin, “non c'è nulla di più pratico di una buona teoria!”

²⁷ Wertheimer, M., *Il pensiero produttivo* – Ed Giunti, Firenze 1965, pg 156

CAPITOLO 3

Matematica e cecità

3.1 Introduzione

La presente analisi si deve agli studi di Mc Closkey e al modello riabilitativo che ne porta il suo nome; ideato per l'analisi della discalculia nei suoi termini più generali, necessita di opportune contestualizzazioni se applicato a soggetti privi della vista.

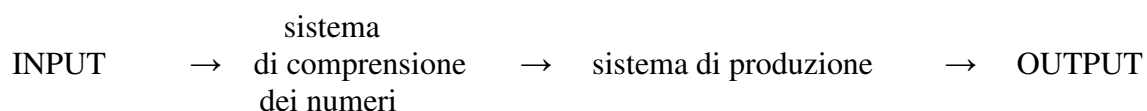
Una prima importante differenza si applica proprio al concetto di transcodifica, sia semantica, sia numerica.

L'alunno non vedente impara abbastanza rapidamente, forse più rapidamente dei soggetti vedenti di pari età, la sintassi fonetica dei numeri: per un ormai noto fenomeno di vicarianza funzionale, tipico delle persone cieche, le capacità discriminative dell'udito sono più potenti che nei soggetti normovedenti, quindi le capacità di apprendimento delle novità per via fonetica sono più sensibili; di conseguenza, tutte le aree corticali relative al linguaggio verbale sono più sviluppate, sia in termini di comprensione uditiva, sia in termini di produzione orale.

Cerchiamo di chiarire più da vicino di cosa si tratti.

3.2 Lessico e sintassi dei numeri

I sistemi di comprensione e di produzione



Sia il sistema di comprensione, sia quello di produzione «operano sui numeri» attraverso unità funzionali di elaborazione dei codice uditivo (fonologico) e visivo (grafemico o arabico). Il meccanismo di comprensione permette di leggere i numeri in codice arabico (per esempio, «8») o grafemico (per esempio «otto»), e riconoscere i numeri in codice uditi a voce. Il meccanismo di produzione permette di scrivere i numeri in codice arabico o grafemico e di produrre oralmente i numeri in codice fonologico.

Dati riportati da McCloskey, studiando pazienti neurologici adulti, dimostrano dissociazioni neuropsicologiche nell'uso dei due codici, per cui questi ultimi possono essere selettivamente compromessi, generando distinte tipologie di disturbi. In letteratura sono infatti riportati casi di soggetti capaci di identificare senza errori il più grande di due numeri presentati sotto forma di cifre arabe, ma incapaci di rispondere allo stesso compito con numeri scritti sotto forma di parole. Altri soggetti, invece, presentano esattamente il quadro opposto, dimostrando una difficoltà specifica nel riconoscimento del codice arabico.

Ma i numeri, per essere letti, capiti, usati, ecc., oltre a essere riconosciuti in codice arabico e/o verbale, devono essere «cognitivamente manipolati», se così si può dire, attraverso meccanismi lessicali e sintattici, responsabili rispettivamente dell'elaborazione delle singole cifre contenute nel numero e dell'elaborazione dei rapporti fra le cifre che costituiscono il numero stesso. L'elaborazione di un numero, infatti, comporta una sua rappresentazione concettuale, per il cui tramite vengono identificati tutti gli elementi che lo costituiscono, specificando per ciascuno di essi le informazioni relative alla quantità e all'ordine di grandezza. Tali informazioni regolano il lessico (nome) dei numeri e sono in stretta interdipendenza con la loro sintassi (regole interne relative al valore posizionale delle cifre).

Il lessico dei numeri

Seguendo il modello di McCloskey, nella codifica verbale di un numero ciascuna cifra, a seconda della sua posizione, assume un «nome» diverso. A seconda del sistema che viene adoperato, di comprensione e/o di produzione, i meccanismi lessicali hanno il compito di selezionare adeguatamente i nomi delle cifre per riconoscere quello del numero intero.

Rispetto al nome dei numeri, nella letteratura è assunta da diversi autori la distinzione tra i numeri primitivi e gli elementi miscelanei. In particolare, i numeri primitivi appartengono a tre classi distinte, chiamate «ordini di grandezza» o «livelli»:

- le unità
- i «teens», che contengono la sottocategoria dei «-dici»

- le decine.

Ogni numero è caratterizzato, oltre che dalla classe a cui appartiene, dalla posizione occupata nella classe stessa. Per esempio: il cinque possiede la quinta posizione nel livello delle unità; il quindici, la quinta posizione in quello dei «teens», il quaranta la quarta posizione in quello delle decine, come illustrato nello schema che segue.

| Posizione | Unità | Teens | Classe | Decine |
|-----------|---------|-------|-------------|-----------|
| 0 | | | dieci | |
| I | uno | | undici | |
| II | due | | dodici | venti |
| III | tre | | tredici | trenta |
| IV | quattro | | quattordici | quaranta |
| V | cinque | | quindici | cinquanta |
| VI | sei | | sedici | sessanta |
| VII | sette | | diciassette | settanta |
| VIII | otto | | diciotto | ottanta |
| IX | nove | | diciannove | novanta |

(Miceli, 1990)

Dal punto di vista dell'apprendimento, possibili errori a carico dei meccanismi lessicali sono quelli che riguardano la produzione (o la comprensione) delle singole cifre, senza coinvolgere il loro posto all'interno del numero. Ci si permetta di offrire un esempio molto usato per esplicitare di cosa si tratti, e cioè quello secondo cui «pescare» nel livello giusto, ma non trovare l'etichetta verbale che serve, sarebbe come sapere qual è il cassetto delle maglie rispetto a quello dei calzini, ma scegliere la maglia di un colore non adatto. Sono lessicali errori del tipo: 4 al posto di 7 (leggo, o mi rappresento mentalmente, scrivo o dico ad alta voce «quattro» invece di «sette»); 15 al posto di 13; 32 al posto di 31, e così via. Gli elementi miscelanei («-cento», «-mila», «milioni», ecc.), si aggiungono ai numeri primitivi a seconda della loro posizione all'interno di un numero. La loro corretta selezione è ad opera dei meccanismi sintattici e semantici.

La sintassi dei numeri

Ogni cifra nel comporre un numero (ad esempio le cifre 1, 9 e 7 nel comporre centonovantasette) è caratterizzata da una relazione posizionale particolare con le altre cifre costituenti un numero, relazione elaborata da meccanismi sintattici (valore posizionale delle cifre). Tali meccanismi attivano il corretto ordine di grandezza di ogni cifra, unità, decine, centinaia, ecc., grazie alla conoscenza della potenza di 10 necessaria. Dal punto di vista dell'apprendimento, possono essere errori sintattici tutti quelli in cui la capacità di codificare le singole cifre è integra, ma è compromessa la capacità di stabilire i rapporti tra le cifre in una struttura sintattica corretta. Dato

cioè un numero composto di più cifre, un soggetto può produrre una risposta contenente tutte le cifre di quel numero, ma di ordini di grandezza diversi. La posizione all'interno della classe è dunque quella esatta, ma il livello di appartenenza è errato. In realtà, diverse ricerche in letteratura¹ hanno verificato che gli errori più frequenti che i bambini commettono, sia nella comprensione che nella produzione dei numeri, si possono codificare quali errori a base sintattica. Questi infatti sembrano anche nascondere un apprendimento carente o non consolidato, come negli esempi seguenti:

1. Prima che la sequenza numerica venga interiorizzata, possono presentarsi vari errori nel conteggio orale dovuti al mancato controllo della struttura sintattica.
2. Errori che dipendono da un'elaborazione che rispetta l'incremento (posizione) delle sole unità, ma confonde la categoria lessicale in compiti di enumerazione, trascurando il valore posizionale delle altre cifre: per esempio 1, 2, 3, 4, 15, 16 .., tralasciando la presenza delle decine.
3. Errori in compiti di enumerazione che confondono il livello e non attivano neppure l'incremento di posizione, per esempio, 13, 14, 40, 41, 42, ecc.. Lo zero rappresenta un caso particolare di tipologia d'errore a base sintattica. La produzione di numeri nel codice verbale non utilizza mai la parola «zero», se non quando questa denota la quantità assoluta «zero». Nella produzione in codice arabo, invece, lo 0 è necessario e ha un valore posizionale pari a quello delle altre cifre. Quando questo valore non viene riconosciuto possono verificarsi errori nella produzione e nella transcodificazione delle parole-numero, per esempio il numero «centouno» è tradotto in codice numerico come «1001», trascurando il valore posizionale dello zero.
4. Il mancato riconoscimento del valore posizionale delle cifre in genere può determinare, una «lessicizzazione» completa o parziale del numero da produrre. Es.: «duecentocinquantesette» > 210057; «ottocentosessantuno» > 8100601; «settemilaquattrocentoventiquattro» > 700040024. Il valore posizionale dello zero è appreso, ma usato «troppo», ogni volta che si incorre nei moltiplicatori «-mila» e «-cento». Al contrario, un apprendimento non consolidato del significato di decina, centinaio, migliaio, porta a non considerare il legame tra le cifre e di conseguenza a produrre cifra per cifra come se ciascuna fosse un'unità a sé. Es.: 574 > «cinquesettequattro».
5. In caso di elementi miscelanei del lessico dei numeri, «-cento», «-mila», ecc., bisogna considerare che questi sono detti moltiplicatori perché prendono il posto della potenza di

¹ Si vedano a tal proposito i diversi contributi di Fuson e Hall, 1983; Gelman e Meck, 1983

10 corrispondente; in particolare sono moltiplicatori nei riguardi di una singola «casella» della rappresentazione sintattica. Inoltre possono innescare relazioni non soltanto moltiplicative ma anche additive. Ad esempio, in «settecentodue», cento moltiplica sette, mentre il due è addizionato. Il loro carattere semantico differenziato può confondere, producendo errori di due tipi:

- a. relazioni moltiplicative sono rese additive: «duecento» > 102; «tremilasettanta» > 1073 ecc.
- b. relazioni additive sono rese moltiplicative: «centocinque» > 500; «centoventitré» > 2300; «millesette» > 7000 ecc.

In sintesi si tratta di tutti quegli errori di transcodificazione tra i diversi codici arabico-verbale e viceversa. Pur sapendo contare oralmente e per iscritto in uno dei due codici e aver consolidato il significato di ciascun numero, è possibile avere difficoltà nella transcodificazione, ossia nel passaggio dallo stimolo uditivo o scritto nella modalità fonologica a quello scritto nella modalità araba, o viceversa, a seconda di quale codice è meglio appreso.

3.3 I disturbi del linguaggio matematico nelle persone prive della vista

La padronanza di un input, della comprensione, della produzione e dell'output è talvolta più efficace nei soggetti ipovedenti o ciechi assoluti rispetto ai soggetti normovedenti di pari età, ma solo relativo alla manipolazione di un linguaggio veicolato in modo verbale.

I termini di applicabilità del modello non funzionano più nel momento in cui si prenda in considerazione un input in forma scritta, si tratti di codice alfabetico o numerico.

In dettaglio ecco le motivazioni:

- a) da un punto di vista legislativo², parlare di persone cieche significa indifferentemente parlare di soggetti completamente privi della vista (i cosiddetti “ciechi assoluti”) o di persone con residuo visivo (i cosiddetti “ipovedenti”); da un punto di vista della statistica clinica, la quantità di soggetti totalmente privi della vista rimane una minoranza rispetto alla totalità delle certificazioni di cecità. Il motivo è di tipo neurologico: la struttura della

² Corsi, F., *La classificazione delle minorazioni visive* – Università di Verona, atti del convegno “la persona diversamente abile entra all'Università”, articolo disponibile in internet sul sito www.univr.it/ufficiodisabili/documenti.html

retina, del nervo ottico e delle vie visive cerebrali sono talmente complesse da rendere funzionalmente poco probabile una cecità di tipo assoluto. Si noti come nel nostro cervello sono presenti circa tre vie visive di tipo cerebrale, di cui solo una, corticale, è quella che possiamo considerare la vista consapevole.

- b) Ma appare evidente, anche al più profano che, da un punto di vista percettivo, evolutivo e cognitivo ci sono enormi differenze tra chi non vede assolutamente nulla e chi invece può contare anche su un piccolo residuo.

Per apparente paradosso, ma lo si chiarirà tra poco, il lavoro educativo è più semplice con alunni ciechi assoluti congeniti, in quanto obbliga all'adozione di strategie del tutto peculiari che non hanno alcuna commistione, talvolta indebita, con il mondo della visione.

L'alunno ipovedente, quindi con un residuo visivo, si trova perennemente in quella situazione ibrida in cui mai si riesce a definire con assoluta precisione il tipo di strategia da adottare: quelle relative alla cecità assoluta sono eccessive, mentre quelle relative alla didattica ordinaria sono insufficienti, con una gamma pressoché infinita di sfumature intermedie. Oltretutto, chi ha un residuo visivo tende a sfruttarlo al massimo delle sue potenzialità, generando delle distorsioni percettive talvolta incomprensibili anche al più esperto degli educatori.

- c) Da un punto di vista percettivo e cognitivo, il modo di approcciarsi al mondo da parte della persona totalmente priva della vista differisce in modo sostanziale da chi, invece, ne possiede anche solo una porzione. Per rendere conto di questa diversità, trattando di linguaggio matematico, si useranno proprio le differenze di comprensione del linguaggio.

In una prospettiva evolutiva normosensoriale, l'apprendimento del linguaggio scritto, sia alfabetico, sia matematico, avviene per corrispondenza biunivoca tra fonema e grafema, in altre parole, tra il suono di una parola o di un numero, e la struttura del suo simbolo scritto. Nel cieco assoluto, il passaggio delle informazioni e la sua successiva sintesi non avviene tra orecchio e occhio, ma tra orecchio e mano, o tutto l'apparato sensoriale afferente al tatto; in definitiva, il cieco assoluto non associa un suono ad un simbolo, ma un suono ad una forma, tattilmente percepibile. Considerando che il tatto, da un punto di vista esplorativo ha senso solo in modo cinestesico³, la conclusione è che il linguaggio, nel

³ Per capire meglio: quando si esplora un qualunque oggetto con la mano, nessuna informazione viene desunta se la mano rimane ferma; non è possibile comprendere le dimensioni, ad esempio, di un tavolo se non facendo

cieco assoluto, è associazione tra un suono e una forma in movimento. Si può ben comprendere, perciò, quanto sia difficile tradurre la complessità e il rigore della simbologia matematica in un linguaggio che rispetti i criteri di una forma in movimento.

Lo stesso codice Braille è sufficiente a definirne i limiti: fare matematica in braille è estremamente difficile e limitante perché persegue la traduzione meccanica dal codice alfabetico e numerico; limitarsi a dire che tradurre in braille le espressioni matematiche sia dispersivo significa centrare solo una parte del problema: diventa dispersivo non solo per l'aumento esponenziale dello spazio di scrittura, e quindi con la conseguente perdita di percezione globale in fase di lettura. Il problema poggia su una logica più profonda: è illecito considerare come generale la corrispondenza biunivoca tra un linguaggio alfabetico in caratteri visivamente percepibili, e un linguaggio, come il braille, la cui logica interna è quella di una forma in movimento: qualunque traduzione sarà necessariamente limitata e distorta.

- d) La situazione della persona ipovedente complica, se possibile, ancor di più il quadro complessivo della prognosi educativa: come possiamo costruire una chiave di lettura omologa per la percezione del mondo da parte dei vedenti, allo stesso modo, con le inevitabili astrazioni teoriche, è possibile delineare il mondo della cecità assoluta, entrambi definiti con un sistema di regole e leggi, in linea di massima, finite.

Nel caso dell'ipovisione, sono tante le percezioni del mondo quante sono le sfumature permesse da quello, e solo quello, stato visivo.

L'ipovisione è un'ampia zona di confine tra un "po' più di nulla" e un "po' meno di tutto", in cui si scende continuamente a compromessi tra il lavorare come se nulla fosse, e il lavorare come se tutto fosse, in cui le distorsioni e le approssimazioni sono connaturate e dinamiche all'agire educativo, mano a mano che se ne scoprono le condizioni interne. Per il soggetto ipovedente discalculico è giocoforza lavorare simultaneamente sia come se vedesse, sia come se non vedesse, proprio per l'indefinibilità a priori della strategia educativa più idonea. Talvolta la didattica della matematica impone di guardare allo stesso obiettivo dalla duplice via sintattica e semantica, e da quella spaziale – esplorativa, propria della normovisione l'una, e della cecità assoluta l'altra, con inevitabile aggravio di lavoro.

scorrere la mano sui suoi bordi; la mano ferma su una superficie non dà alcuna informazione; il tatto ha bisogno di muoversi per fornire delle informazioni. Lo stesso vale se si esplora un ambiente con il proprio corpo: le informazioni e l'idea di spazio derivano solo dall'esplorazione in movimento relativo con l'ambiente.

L'ipotesi di guardare alle difficoltà matematiche del cieco da un punto di vista linguistico nasce dalla sintesi, virtuosa quanto fortunata, tra gli elementi fondanti la psicopatologia della matematica quale materia scolastica, e alcune caratteristiche peculiari tipiche della persona priva della vista, in particolare le doti linguistiche.

Le capacità verbali del cieco, a volte connotate da vere e proprie "abilità speciali", consentono di dare origine ad un paradigma riabilitativo di notevole interesse e potenzialità.

Il patrimonio verbale che il cieco sviluppa in adattamento alla minorazione visiva consente, simultaneamente, buoni elementi di analisi e diagnosi, e altrettanto proficui margini di incremento di sviluppo cognitivo: a partire dalla constatazione dei cosiddetti "verbalismi", ossia l'uso acontestualizzato di una certa terminologia solo perché quella particolare parola "suona bene". È questa una vera e propria stereotipia; si è così in grado di comprendere quando ad un certo *corpus* di vocaboli non corrisponda l'effettiva comprensione del suo significato.

In termini di apprendimento e comprensione della matematica, l'handicap del verbalismo permette di identificare vere e proprie lacune logiche rispetto alle quali il cieco ci indica "il titolo", che sottende mancanze specifiche nell'interiorizzazione di determinate abilità.

Ma è altrettanto vero che le doti di attenzione al linguaggio verbale, e la relativa memorizzazione, permettono di avere a disposizione, da un punto di vista educativo, un buon canale attraverso il quale veicolare forme di apprendimento mirate; come si avrà modo di illustrare nel corso della presente trattazione, l'utilizzo del solo linguaggio verbale ha permesso, a non vedenti particolarmente tenaci e dotati, di portare a termine studi matematici quali un percorso di laurea, e il successivo accesso a carriere di insegnamento universitario in matematica pura ed applicata.

L'esperienza narrata da protagonisti come questi è pervasa da soluzioni di tipo empirico, talvolta supportate anche dal buon cuore dei molti collaboratori che ne hanno condiviso gli anni dello studio; ma se anche si sia ancora lontani da una trattazione sistematica delle difficoltà matematiche da parte della persona non vedente, tali esperienze "di vita vissuta" rappresentano quanto meno una forte speranza nella ricerca di soluzioni; varrebbe a dire che la meta esiste, ma si tratta di trovare per tutti una via maestra per raggiungerla, ossia una possibile generalizzazione.

3.4 La nozione di "Problema" nella vita del cieco

Generalmente si associa lo studio della matematica alla necessità di risolvere dei problemi, più o meno concreti.

Se si considerasse la matematica alla sola stregua della soluzione dei problemi, se ne darebbe un'immagine quanto meno riduttiva, oltre che in contraddizione con quanto esplicitato nel capitolo precedente: se la matematica è effettivamente un linguaggio simbolico e formale per rappresentare la realtà, ridurlo alla soluzione dei problemi è inadeguato; ma la domanda, in questi termini, è mal posta, almeno nel modo in cui generalmente viene presentata agli studenti, nelle scuole di grado inferiore e superiore.

La matematica è, e rimane, un modo di rappresentare e dominare le relazioni quantificabili (raffrontabili) della realtà; sono le applicazioni derivanti da tali rappresentazioni che permettono, di volta in volta, di risolvere dei problemi. Questa è rimasta la sua accezione più nobile dalle origini greche e fenicie, indiane e arabe, fino almeno alla rivoluzione industriale. Fino a questo punto le applicazioni per risolvere problemi erano la felice conseguenza di una materia, affascinante per logica e rigore. Storicamente, dal '600 in poi si ha avuto la tendenza ad invertire i frutti con le radici⁴, chiedendo alla matematica di diventare fin troppo frequentemente l'ancella all'ingegneria o alla fisica, per la rappresentazione e la soluzione di situazioni di effettiva necessità pratica.

Questo retaggio di esclusiva soluzione dei problemi pare essere rimasto nei capisaldi didattici di questa materia: a volte la motivazione è fondata, come nel caso di scuole di tipo tecnico; in altre, rischia di connotare lo studio della matematica con un'aura di pesantezza e pessimismo che spiegherebbe l'effetto deterrente in molti studenti: talvolta significa risolvere problemi esterni di cui non se ne vede la ragione.

Si potrebbe obiettare, e a ragione, che la necessità (o la proposta) di risolvere un problema stimolerebbe la motivazione allo studio di un approccio alla realtà, altrimenti molto astratto. Ma è fondata opinione di chi scrive che lo studio di una materia può dare piacere per la sola ragione d'essere materia di studio, anche di esclusivo gusto speculativo: non necessariamente se ne deve cercare la motivazione pratica, che può venire anche in secondo momento.

Che significato assume la nozione di "problema", nella sua accezione più generale, nell'economia quotidiana della vita di un cieco? Una persona priva della vista, che persegua per sé quel grado minimo di integrazione nel mondo di tutte le persone, affronta e risolve continuamente situazioni problematiche, almeno nel senso in cui lo definisce Polya⁵. Dal perseguimento di uno scopo al semplice aggiramento di un ostacolo, anche di tipo fisico, per il non vedente sono situazioni – problema che sono parte integrante della stessa vita giornaliera.

⁴ A tal proposito, nella vasta trattazione di filosofia della matematica, si veda il pensiero di Bertrand Russell e di Kurt Gödel.

⁵ Vedi capitolo 2, pg. 29

L'essenza profonda, il vero limite ontologico connaturato alla cecità, è la percezione e la gestione univoca dello spazio/tempo⁶. La difficoltà della capacità di anticipazione e di globalizzazione, nonché della normalizzazione dei ritmi circadiani sull'alternanza diurna/notturna, facoltà conseguenti al possesso della vista, rendono la successione di ogni singolo giorno un problema astratto che il cieco deve risolvere facendo leva sulle proprie abilità sensoriali vicarianti e sulle proprie doti cognitive.

Ma se ogni persona è soggetto unico e irripetibile, ciò vale anche e a maggior ragione per i soggetti affetti da privazione sensoriale, soggetti per cui l'insieme delle strategie e delle soluzioni per integrarsi continuamente nel mondo dei normosensoriali rappresenta un caleidoscopio di ricchezza talvolta sorprendente; ma, evidentemente, questa ricchezza tutta umana e soggettiva va a discapito di quella generalizzazione che qualunque ricerca di tipo scientifico cercherebbe di perseguire: le linee guida di orientamento, mobilità e autonomia personale definiscono dei campi di strategie ed euristiche a maglie abbastanza ampie, maglie in cui ogni soggetto non vedente trova il suo proprio personale modo di risolvere il problema.

Per chiarezza, va detto che la precedente constatazione è assolutamente esente da ogni *vis polemica*, e almeno per due buone ragioni:

1. In primo luogo, la sistematizzazione delle strategie di orientamento, mobilità e autonomia personale è una scienza relativamente giovane, cui si deve l'indiscusso merito di aver ordinato e diffuso metodi e tecniche spesso di origine empirica, ottimizzandone le modalità;
2. in secondo luogo, da un punto di vista pedagogico, è assolutamente assodato il principio che sancisce il diritto/dovere di ogni soggetto di perseguire in modo individuale il proprio dover essere.

Rimane tutta da esplorare la correlazione, se esiste, tra la nozione di problema nella quotidianità della persona cieca, e la nozione di problema matematico, nella sua accezione di generalizzazione di un'operazione, di applicabilità della medesima a tutti i contesti omologhi, di formalizzazione di una sequenza ordinata e finita di azioni mirate in un algoritmo.

A tal proposito, conviene introdurre altre importanti nozioni che forse permettono di sviluppare ulteriormente il discorso.

⁶ Per un approfondimento di quest'affermazione, si veda il pensiero di Molyneaux, correlato alla percezione dello spazio nella persona non vedente, nel lavoro di tesi di Presti, S., "lo spazio cieco" Relatore Prof. Angelo Lascioli – Università di Verona, dipartimento di Scienze della Formazione, A.A. 2006 – 2007.

3.5 Ripresa: la nozione di soluzione e risultato, di euristica e procedura, di strategia e algoritmo

La definizione astratta del concetto di problema permette di delimitarne con chiarezza i confini, ma per la comprensione della sua natura è necessario analizzare la sua domanda interna, in qualità di ricerca di una soluzione.

Il processo che porta dall'esplicitazione della domanda alla definizione della sua risposta non segue un tracciato univoco: almeno per l'assunto che per uno stesso problema possono esistere diverse soluzioni, fino talvolta ad un numero infinito, si determina che la ricerca della risposta persegue un percorso logico di tipo stocastico, in cui, passo dopo passo, è necessario, letteralmente, "riprendere la mira" al fine di trovare un insieme ordinato di azioni che, in modo efficace ed efficiente, permettano di giungere ad un risultato, e di giungervi in un numero finito di azioni causali. A quest'ultima affermazione corrisponde la definizione di algoritmo.

L'algoritmo, in termini strutturali, è logicamente preceduto da una fase di ricerca intuitiva, la cosiddetta "euristica", che si concretizza in termini pratici nella pianificazione di strategie.

Per spiegare efficacemente la nozione di algoritmo ed euristica, sia da un punto di vista formale, sia da un punto di vista concettuale, cerchiamo di esplicitare la relazione esistente tra soluzioni e risultati, ai quali algoritmi ed euristiche sono logicamente connessi.

Si consideri la seguente tabella di correlazione, già nota nel precedente capitolo:

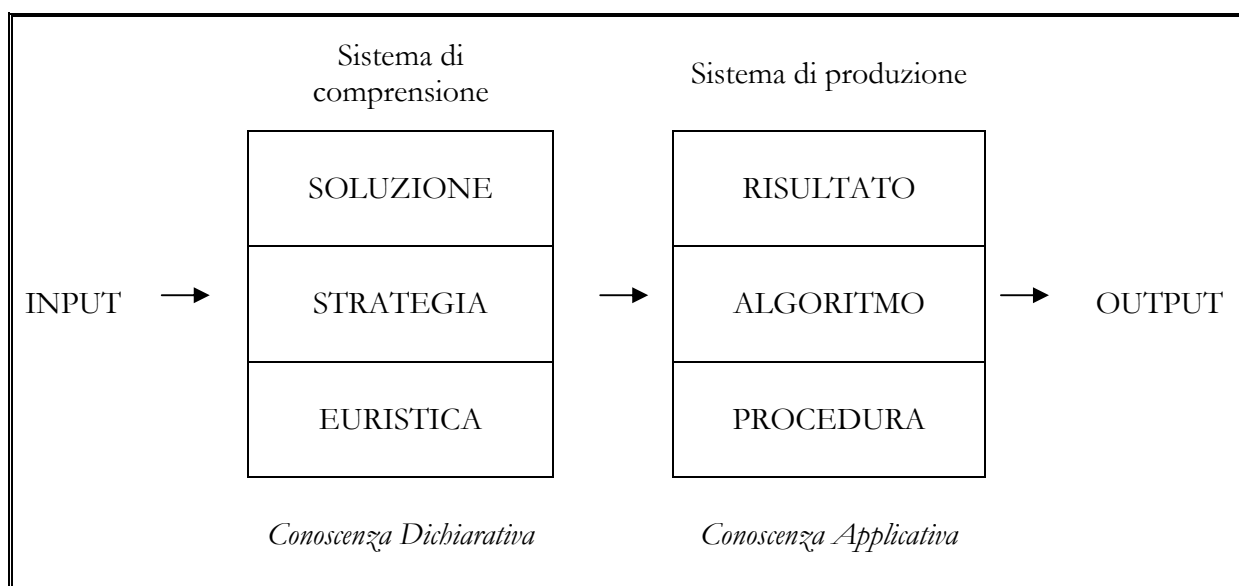
| | |
|-----------|-----------|
| SOLUZIONE | RISULTATO |
| STRATEGIA | ALGORITMO |
| EURISTICA | PROCEDURA |

Analizzate ed esplicitate le difficoltà di accesso alla matematica, sia in termini generali, sia contestualizzandone i contenuti per la cecità, da un punto di vista del linguaggio, della definizione di problema e della sua domanda interna, rimane a tal punto da affrontare che cosa potrebbe accadere in termini di applicazione pratica nella ricerca della soluzione di un problema matematico.

Si ipotizzi la seguente sintesi: il concetto di **soluzione** e di **euristica**, quale processo di scoperta della soluzione da adottare, e **strategia** come processo di stesura di piani per affrontare il problema, siano parti della componente “dichiarativa” per la soluzione del problema. In questa prima fase la persona che affronta il problema si limita ad anticipare teoricamente la via da percorrere per arrivare al risultato.

Mentre sul versante dei **risultati**, le **procedure risolutive** (programmi o protocolli applicativi delle euristiche e delle strategie) e gli **algoritmi** (procedure sequenziali che, dopo un numero finito di passi, raggiungono il risultato), siano parti della componente “applicativa”, cioè la componente del lavoro di risoluzione che, dopo una sequenza logica e finita di azioni concrete, porta effettivamente al risultato.

Intersecando e sintetizzando due modelli già noti in precedenza, il nuovo diventerebbe:



Dalle interviste e resoconti delle persone cieche incontrate per la presente ricerca emergono diversi elementi comuni:

- Per gli studenti di scuola superiore, quasi mai la decodifica semantica della consegna (domanda interna) del problema rappresenta una particolare difficoltà. La comprensione è dovuta all'analisi sintattica del testo della domanda, o degli operazionali contenuti nella funzione da analizzare, di modo che la contestualizzazione della procedura da applicare risulta abbastanza intuitiva. Da questo punto di vista pare confermarsi l'ipotesi secondo la quale il contenuto della domanda, insito al problema, possa essere decodificato sulla scorta della sintassi interna al linguaggio matematico. Alla lettura del testo o della

funzione in studio segue la verbalizzazione del tipo di strategia che sarebbe opportuno applicare per arrivare al risultato. La comprensione della domanda, in definitiva, avviene per esclusiva via lessicale. Si ricordi a tal proposito che la notazione matematica comunemente usata per la scrittura delle formule rappresenta la veste “stenografata”, secondo la simbologia matematica, di una serie di azioni che sarebbe eccessivamente prolisso rendere in linguaggio naturale. Il cieco altro non fa se non ri-tradurre in linguaggio naturale questa sintesi stenografata.

- Come ampiamente trattato nel capitolo precedente, esiste un modello riabilitativo che utilizza espressamente l'approccio logopedico alla comprensione del linguaggio matematico, rispondendo ad una semplice domanda: “in quale fraseggio naturale si può tradurre il fraseggio logico e stenografico della sintassi matematica?”
- Tutti gli intervistati, dagli studenti di scuola media superiore ai professionisti, evidenziano come la situazione si complichino alquanto al momento di applicare concretamente la sequenza di azioni concrete che porta al risultato, in termini di traduzione dell'euristica alla strategia, per poi definire l'algoritmo. In questa fase del lavoro la persona non vedente adotta delle strategie pratiche che esulano completamente dalla prassi ordinariamente condivisa per la soluzione del problema, e ancora una volta a causa del linguaggio: lo strumento più comunemente utilizzabile per la transcodifica semantico – numerica è l'alfabeto braille, che in quanto tale, per il cieco, rappresenta una traduzione fonetico – morfemica e non più fonetico – grafemica, come per l'ordinario linguaggio matematico. Tale traduzione, talvolta indebita, dà origine ad evidenti distorsioni, non permettendo la transcodifica fedele dell'operazione matematica.
- Le persone non vedenti arrivano alla definizione del risultato con strategie a volte del tutto personali, che tentano in prima battuta di ovviare alle distorsioni di transcodifica derivanti dall'utilizzo della notazione braille. Nonostante la bontà del risultato, l'algoritmo per giungervi è quasi sempre del tutto personale e non generalizzabile, ponendo la persona non vedente in uno stato di solipsismo metodologico estremamente affaticante.

In sintesi, il presente modello consente una prima diagnosi pedagogica: il soggetto cieco è in grado, secondo i correnti paradigmi della psicopatologia della matematica, di comprendere il linguaggio matematico e di ideare delle strategie sulla scorta del linguaggio naturale. Il sistema di input e di comprensione dichiarativa è formalizzabile secondo i modelli attualmente in uso.

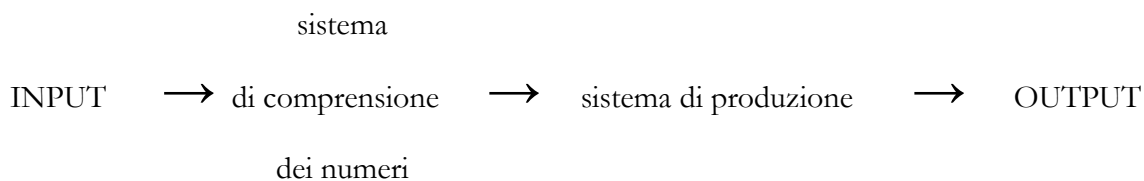
Non è ancora possibile formalizzare e generalizzare la traduzione attiva delle strategie in algoritmi formali e generalizzabili, a causa dei limiti connaturati alla traduzione in codice braille o di altro

genere dell'ordinario linguaggio matematico. In tale accezione si può parlare di accesso personale alla soluzione, ma non ancora di formalizzazione generalizzata del risultato.

3.6 Sistema di calcolo e analisi procedurale secondo il modello Mc Closkey: implicazioni nell'ambito della cecità

L'esecuzione di operazioni aritmetiche, una volta acquisita la tecnica necessaria, ci può apparire come un compito abbastanza semplice. Ma in realtà le scienze psicologiche hanno dimostrato che, ad esempio, anche per l'addizione di due numeri a una cifra ($3 + 2$) sono necessarie delle operazioni mentali che la rendono un fenomeno cognitivo complesso. Quali sono dunque questi processi psicologici che vengono messi in atto? In che modo è organizzato il sistema dei numeri e del calcolo?

Riprendendo una definizione già nota:



Il sistema di comprensione trasforma la struttura superficiale dei numeri (diversa secondo il codice, verbale o arabo) in una rappresentazione astratta di quantità.

- Il sistema del calcolo assume questa rappresentazione come input, per poi «manipolarla» attraverso il funzionamento di tre componenti:
 - o i segni delle operazioni,
 - o i «fatti aritmetici» o operazioni base,
 - o le procedure del calcolo.
- Il sistema di produzione rappresenta l'output del sistema del calcolo, fornisce cioè le risposte numeriche.

Seguendo il modello di Mc Closkey, le componenti del sistema di calcolo sono considerate materia della conoscenza dichiarativa.

I segni algebrici sono le informazioni elaborate per prime: siano essi espressi in codice arabo (+, -, x, :, ecc.), oppure in codice verbale (più, meno, per, diviso, ecc.), devono essere riconosciuti per poter stabilire la natura dell'operazione da risolvere. Solo così è possibile accedere ai fatti aritmetici, ossia alle combinazioni di unità semplici (3×3 ; $4 + 2$), in cui è possibile scomporre l'operazione. Questi rappresentano in realtà i problemi elementari che vengono risolti accedendo direttamente alla soluzione, senza dover necessariamente ricorrere alle procedure dei calcolo.

Sia il significato dei segni sia i fatti aritmetici sono archiviati nella memoria a lungo termine e sono selezionati al momento opportuno. Così, quando le relazioni tra i dati sono automatizzate, la loro conoscenza può essere considerata una vera e propria conoscenza dichiarativa di informazioni note.

Nell'assimilazione di fatti aritmetici in forma verbale, le persone non vedenti si dimostrano particolarmente dotate, proprio per la facilità con cui utilizzano il linguaggio per introiettare e riprodurre informazioni. Un approccio sempre molto efficace, per far apprendere agli alunni non vedenti degli elementi di calcolo come i fatti aritmetici (perciò come patrimonio di informazioni automatizzate che non necessitano di applicazione di algoritmo), è il cosiddetto "approccio logopedico", metodica tramite la quale operazioni di base, quali le tabelline, sono apprese come vere e proprie filastrocche; il medesimo approccio può essere utilizzato per l'apprendimento di una quantità pressoché infinita di informazioni, anche inerenti a elementi di matematica superiore. Ma non bisogna dimenticare che il rischio di verbalismi è sempre presente e tangibile, quindi occorre verificare in continuazione se all'assimilazione mnemonica di un certo codice o di una certa formula corrisponda effettivamente il suo *status* di fatto aritmetico, o se invece sia solo un ripetere fine a sé stesso e vuoto di significato.

Elaborati e riconosciuti i due dati dell'operazione e il segno, il sistema cognitivo può attivare le procedure generiche del calcolo e quelle specifiche per l'operazione aritmetica. Nel caso in cui il compito richiesto non consenta un accesso diretto alla risposta, è necessaria la conoscenza procedurale. Quest'ultima, nel caso di calcoli mentali, indica quali scomposizioni operare sui numeri per ottenere operazioni intermedie più semplici, e nel caso del calcolo scritto ordina la forma grafica della specifica operazione: l'incolonnamento dei numeri, la direzione spazio-temporale delle azioni (cioè l'ordine in cui le operazioni parziali vanno recuperate in memoria) e infine il modo di fruirne tramite regole vere e proprie.

Nel soggetto non vedente in età evolutiva, la procedura di incolonnamento delle operazioni risulta abbastanza immediata, a patto che con lui si sia lavorato a sufficienza nell'esplorazione

funzionale dello spazio fisico; se il giovane cieco è già abituato a muoversi nello spazio-tempo, già possiede quelle nozioni base di topologia che gli permettono di associare, ad una distribuzione spaziale dall'alto al basso, il concetto ordinato e direzionale di percorrenza del tempo: in termini pratico, compresa l'immagine allegorica che "dalla situazione problema si scende nell'analisi fino alla sua soluzione", è abbastanza semplice l'associazione di successione ordinata delle azioni di calcolo dall'alto al basso, tipica della distribuzione colonnare delle operazioni.

Alcune regole procedurali alleggeriscono il carico di contenuti in memoria. Si tratta, per lo più, di meccanismi automatici (ad esempio nei casi in cui è richiesto di aggiungere o sottrarre lo zero, l'uno o un numero a se stesso; di moltiplicare per zero, o dividere zero per un altro numero ecc.). In particolare, nel calcolo mentale la conoscenza procedurale può essere utilizzata in modo più flessibile che in quello scritto: mentalmente ci si può rappresentare fedelmente l'operazione scritta e procedere come per iscritto, da destra a sinistra⁷.

Ma è anche possibile utilizzare un processo inverso, da sinistra a destra: i numeri possono venire scomposti in decine e unità, permettendo di operare prima con le decine e poi con le unità. La proprietà «dissociativa» dell'addizione e della sottrazione permette, ad esempio, di scomporre un addendo, un minuendo o un sottraendo in due o più addendi più piccoli e operare tramite tappe intermedie. Naturalmente, nel caso in cui le operazioni comportino il prestito o il riporto, sono necessarie delle integrazioni, o delle strategie di arrotondamento alla decina [$35 + 28 = (35 + 30) - 2$; $35 - 28 = (35 - 30) + 2$].

Si possono operare scomposizioni anche nella moltiplicazione e nella divisione: un fattore o un divisore sono a propria volta il prodotto di due fattori più piccoli, più facili da gestire nell'elaborazione del calcolo [$56 \times 7 = (7 \times 8) \times 7 = (7 \times 7) \times 8$].

Nelle moltiplicazioni, oltre che a questa proprietà (dissociativa), ci si può rifare alla proprietà «distributiva»: uno dei due fattori può essere trasformato in una somma o sottrazione; l'altro può essere moltiplicato per ambedue i termini dell'operazione ottenuta, separatamente. Tra i due prodotti, spesso recuperati in memoria, si eseguono poi rispettivamente l'addizione o la sottrazione [$23 \times 9 = (20 + 3) \times 9 = (20 \times 9) + (3 \times 9)$; $(7 \times 9) = 7 \times (10 - 1) = (7 \times 10) - (7 \times 1)$]. La proprietà «invariantiva» della sottrazione (se si aggiunge o si sottrae uno stesso numero ai due termini della sottrazione il risultato non cambia) e della divisione (se si moltiplicano o si dividono per uno stesso numero i due termini della divisione il risultato non cambia) possono semplificare tali operazioni. Meno complessa e applicata più intuitivamente è la proprietà «commutativa» dell'addizione e della moltiplicazione, secondo cui si può cambiare l'ordine degli addendi o dei

⁷ Nell'esecuzione colonnare delle operazioni si parte dalle unità, poste all'estrema destra dell'impostazione dell'operazione

fattori, semplificando il recupero dei fatti aritmetici, senza che ne cambi la somma o il prodotto [$3 + 15 + 7 = 7 + 3 + 15 = 25$; $4 \times 7 \times 10 = 7 \times 10 \times 4 = 280$].

Tutto questo naturalmente avviene senza particolari difficoltà soltanto se e quando il sistema di calcolo sia già maturo e consolidato.

La comprensione della proprietà dissociativa, distributiva e invariante sono la logica conseguenza, da un punto di vista evolutivo, dell'interiorizzazione dei meccanismi di pensiero reversibile, cui fa da prerequisito il concetto piagetiano di invarianza funzionale.

Ancora una volta, per il soggetto non vedente, è fondamentale l'esplorazione dello spazio: l'invarianza funzionale e il pensiero reversibile si manifestano nel cieco quando dimostra di riconoscere il medesimo spazio fisico da qualunque parte ne abbia accesso, o da qualunque parte lo consideri. L'orientamento autonomo in uno spazio fisico strutturato e chiuso rappresenta il prerequisito esperienziale fondamentale alla gestione cognitiva di uno spazio/tempo simbolico, in cui il meccanismo mentale è analogo, ma cambia l'applicazione, che va da una percezione fisica concreta, ad una rappresentazione del tutto astratta.

Se il sistema del calcolo richiede competenze cognitive così complesse e sofisticate, quali difficoltà possono incontrare i bambini nell'apprendimento delle abilità corrispondenti? Seguendo il modello proposto da Mc Closkey⁸, poiché il sistema del calcolo è interdipendente rispetto a quello di comprensione e a quello di produzione dei numeri, i possibili errori devono essere analizzati con attenzione in tutti e tre i sistemi, individuando il peso delle difficoltà lessicali, sintattiche e semantiche, sia nel sistema di comprensione sia in quello di produzione.

Nella letteratura psicologica, gli errori nel sistema di calcolo sono stati attribuiti a differenti categorie di difficoltà:

- errori nel recupero di fatti aritmetici;
- errori nel mantenimento e nel recupero delle procedure;
- errori nell'applicazione delle procedure;
- difficoltà visuospatiali, particolarmente importanti per soggetti ipovedenti;

Errori nel recupero di fatti aritmetici

Il sistema dei numeri funziona in memoria come una vera e propria struttura a rete: la somma di due numeri coincide con la loro intersezione. È possibile cioè ipotizzare che i risultati delle operazioni basilari siano disposti in una fitta «rete» mentale regolata dall'attivazione della risposta al compito richiesto. Naturalmente è altrettanto possibile ipotizzare che alla presentazione di

⁸ Mc Closkey, Caramazza, Basili, *Il sistema di calcolo e il sistema numerico* – Ed Erickson, Trento, 2001.

un'addizione o moltiplicazione, ecc. non sia attivato solo il nodo corretto (corrispondente all'intersezione esatta tra i due addendi, fattori, ecc.), ma tutta una serie di nodi contigui, a cui appartengono risposte vicine a quella esatta. In particolare si verifica una frequente «confusione» tra il recupero di fatti aritmetici di addizione e quelli di moltiplicazione, ad es. $3 + 3 = 9$.

In altri casi si è verificato che la semplice presentazione di due cifre come 2 e 4, in un compito di memoria, può produrre un'attivazione automatica della somma, cioè 6 (il cosiddetto “effetto interferenza”).

Si definiscono «effetti di interferenza» gli errori dovuti al lavoro parallelo dei due meccanismi di attivazione indispensabili per il recupero diretto: da parte dei due operatori, cioè il segno di operazione, e da parte dell'operazione nel suo complesso. Mentre gli operatori attivano univocamente il nodo corretto, l'operazione globale può attivare una serie di risultati, di cui uno, memorizzato con una forza particolare, può determinare una scelta sbagliata.

Gli errori di recupero diretto dei risultati possono derivare dall'immagazzinamento degli stessi: la loro memorizzazione infatti si rafforza ogni volta che il soggetto produce una determinata risposta per l'operazione data, e ciò avviene anche se la risposta è errata. Nelle ripetizioni successive dell'operazione, il recupero dello stesso risultato è coerente con il tipo di immagazzinamento avvenuto, anche quando vi è un'associazione errata tra l'operazione e il risultato scorretto (si pensi al riguardo quante volte a scuola si fanno ripetere esercizi in cui si siano verificati degli errori. In realtà il rischio che corriamo può essere quello di far automatizzare non soltanto l'esercizio, ma anche l'errore!).

La particolare condizione della persona non vedente, che fa ampio uso della memoria verbale, determina rischi molto elevati nel recupero dei fatti aritmetici, proprio per l'elevata probabilità di evocare linguisticamente errori di questo tipo: l'uso limitato, o la totale mancanza, di un supporto mnemonico scritto aumenta esponenzialmente l'uso (e l'abuso) della memoria verbale quale modalità di immagazzinamento delle informazioni che, sprovvista del meccanismo di controllo fornito da un supporto mnemonico fisico o cartaceo, rischia frequentemente di cadere in confusione.

La struttura verbale tipica dell'approccio logopedico continua a mantenere la sua forte efficacia, ma è altresì esposta a forti rischi di produzione di errori se usata in modo esclusivo.

Errori nel mantenimento e nel recupero di procedure e strategie

Altre tipologie di errori possono dipendere dalle difficoltà di mantenimento e recupero di procedure, e dalle difficoltà di applicazione di procedure sbagliate o non adeguate. È il caso, ad esempio, di quei bambini che pur avendo appreso procedure di conteggio facilitanti, si aiutano

ancora con procedure più immature (ad es. nell'operazione $3 + 5$, partire da 3 per aggiungere 5 invece che porre l'addendo più grande come punto di partenza). Quando anche le più semplici regole di accesso rapido, come $n \times 0$ (zero) = 0 o $n + 0 = n$, non sono interiorizzate abbastanza, allora si può confondere facilmente l'applicazione della seconda regola con la prima e l'uso di queste norme procedurali in genere (ad es.: $9 \times 0 = 9$, in cui viene scambiata la regola del prodotto con quella dell'addizione). D'altra parte, se tali regole di facilitazione non sono adoperate con padronanza, il sistema di memoria può iniziare a sovraccaricarsi di informazioni, con un notevole dispendio di energie cognitive e, nel caso di compiti complessi, con un vero e proprio decadimento mnestico. È probabile che le difficoltà nei calcoli orali possano essere imputabili a un simile sovraccarico, in particolare all'incapacità di tenere a mente i risultati parziali, una volta ottenuti; di tenere a mente in quante parti è stato scomposto un fattore o addendo (ammesso che sia stata possibile la tecnica di scomposizione), al fine di recuperare queste informazioni per produrre il risultato finale.

Menzione specifica meritano i calcoli scritti, che richiedono di saper operare tramite risultati intermedi rievocati al momento opportuno. In linea di principio, le attività di mantenimento e recupero, e il ricordo delle procedure specifiche delle quattro operazioni, possono presentare difficoltà specifiche a sé stanti, cioè indipendentemente dal mantenimento e dal recupero dei fatti aritmetici nella memoria a lungo termine, per questo sarebbe opportuna l'analisi qualitativa degli errori commessi.

Ancora una volta, la situazione della privazione visiva assume connotazioni del tutto peculiari: nel caso di una difficoltà a livello di memoria a lungo termine; ad esempio, l'imposizione di apprendimenti a memoria ha un limite al di là del quale è meglio non ostinarsi: il motivo lo si è esplicitato in precedenza.

L'abilità di contare in avanti e all'indietro può sostituire i processi di memorizzazione delle cosiddette tabelline, ma sarebbe più realistico venissero imparate solo le tabelline di 1, 2 e 10, poiché si può in tal modo risalire ai fatti aritmetici tramite «generalizzazione» di queste; ad es.: $4 \times 3 = (2 \times 2) + (2 \times 2) + (2 \times 2)$; $5 \times 8 = (5 \times 10) - (5 \times 2)$, ecc; almeno nella fase iniziale, la proposta della scomposizione andrebbe proposta all'alunno cieco supportata da elementi fisici concreti, che l'esplorazione aptica può riprendere in ogni momento.

Se la difficoltà coinvolge principalmente la memoria di lavoro, l'obiettivo principale è quello di non sovraccaricarla: i risultati intermedi, ad esempio, possono essere simbolizzati e rappresentati a parte, facendo però attenzione a che non sia questo stesso un motivo d'errore; oppure può essere usato un supporto concreto (pallottoliere, oggetti, ecc.) per rappresentare gli operatori, per

aiutare la scomposizione e procedere con una gradualità guidata. La modalità più semplice di scomposizione è quella che fa continuo riferimento alla numerazione in base 10.

Errori nell'applicazione delle procedure

Da un punto di vista della psicopatologia della matematica, in generale, diversi autori hanno descritto specifiche difficoltà di calcolo nell'applicazione delle procedure.

In particolare si possono incontrare difficoltà:

- nella scelta delle prime cose da fare per affrontare una delle quattro operazioni (incolonnamento o meno, posizione dei numeri, del segno operatorio e altri segni grafici come la riga separatoria, ecc.)
- nella condotta da seguire per la specifica operazione e nel suo mantenimento fino a risoluzione ultimata. Ad esempio, per la sottrazione si ha la regola di togliere le unità del sottraendo a quelle del minuendo, e se queste ultime sono minori, si deve prendere in prestito una decina dalla cifra precedente. Es.: per svolgere: $75 - 6$: si deve svolgere inizialmente $15 - 6$. In molti casi il bambino ha presente che è impossibile sottrarre un numero più grande da un numero più piccolo, per cui prende per prima la cifra più grande, dimenticando la regola della direzione. Risulta $75 - 6 = 71$. Anche nel calcolo mentale è possibile questo errore. Un soggetto può cominciare un'operazione applicando le regole adeguate, ma nel corso della risoluzione passare a procedure di un'operazione diversa. Es.: $28 - 16 = 32$ perché è stato svolto giustamente $8 - 6 = 2$ e poi sono state addizionate le decine;
- nell'applicazione delle regole di prestito e riporto: se tali regole non sono apprese, un possibile errore può essere ad esempio $75 - 58 = 20$ perché $5 - 8 = 0$ e $7 - 5 = 2$. Se invece le regole sono apprese, ma non consolidate, un errore può essere $506 - 228 = 388$, in cui il prestito è avvenuto una sola volta, a carico delle decine;
- nel passaggio a una nuova operazione: per la perseverazione del ragionamento precedente, il bambino applica procedure tipiche di un'operazione (ad esempio di una sottrazione) a un'altra (ad esempio un'addizione), nella progettazione e nella verifica: spesso un bambino comincia immediatamente il processo di risoluzione senza analizzare dall'esterno l'operazione, individuando difficoltà e strategie da usare. Anche in questo caso sono frequenti possibili errori di perseverazione. Inoltre, in questo modo non si sviluppa il ragionamento, utile per consolidare le regole procedurali e saperle poi usare anche in contesti diversi, più complessi, tramite generalizzazione. Una volta ottenuto il risultato è frequente che un bambino lo accetti come valido senza riflettere

sull'operazione nella sua globalità. Anche una verifica abbastanza superficiale dell'operazione $506 - 228 = 388$ potrebbe infatti permettere di rilevare l'errore.

Dal punto di vista dell'intervento, la progettazione dell'azione, l'automonitoraggio, la rigidità del pensiero, l'apprendimento meccanico, sono temi che riguardano maggiormente la risoluzione dei problemi. Tuttavia questi concetti di metacognizione sono utili per valutare, e quindi intervenire, potenziare e riabilitare anche il sistema del calcolo. L'apparentemente «semplice» risoluzione di operazioni aritmetiche indica una gran quantità di regole procedurali che a loro volta richiedono l'attivazione di diversi sistemi e processi cognitivi, dall'attenzione alla memoria a lungo e breve termine, da abilità percettive all'elaborazione di procedure.

L'intervento riabilitativo deve essere graduale: dove sono richieste più regole per la soluzione, e più comportamenti per applicare ciascuna regola, bisogna scomporre ogni concetto complesso in unità elementari. Ogni unità elementare può essere considerata una situazione su cui esercitarsi e di cui diventare esperti, prima di essere associata ad altre.

Le difficoltà procedurali testè delineate fanno riferimento ad elaborazione matematica legata ancora ad un livello di tipo operatorio – concreto; le difficoltà matematiche procedurali di un alunno cieco, che si approcci alle quattro operazioni di base, possono essere considerate simili a quelle che può incontrare un qualsiasi alunno di pari età anagrafica, fatti salvi i prerequisiti di pensiero reversibile e di interiorizzazione del concetto di invarianza funzionale esplicitato in precedenza.

L'alunno non vedente deve fare necessariamente affidamento sulla propria memoria a medio e lungo termine in modo più importante rispetto ai suoi coetanei vedenti, poiché il suo mondo percettivo e rappresentativo è costantemente costituito di una serie di informazioni che, per essere mantenute insieme in modo coerente, necessitano di un notevole sforzo mnestico; il maggiore allenamento della memoria da parte del bambino cieco ci permetterebbe di ipotizzare, senza particolari esagerazioni, addirittura una maggiore facilità nel mentalizzare semplici procedure di calcolo; la qual cosa ci porterebbe addirittura ad ipotizzare la minore presenza di difficoltà rispetto alla casistica presentata in precedenza.

La strutturazione degli ausili didattici per il ciclo scolastico primario è coerente con tale ipotesi: un uso intelligente di abaci, cubaritmi, supporti di tipo fisico quali i regoli, e l'introduzione precoce della dattiloritmica⁹ consentono di apprendere l'impostazione di soluzione colonnare delle operazioni a pari livello degli altri alunni.

⁹ Una spiegazione più dettagliata della natura, della forma e dell'utilizzo di questi ausili è data nel capitolo 4

Ma nella logica dell'apprendimento della matematica come linguaggio e come rappresentazione di strutture formali esiste un'importante "linea di confine", al di là della quale le persone prive della vista vengono trasferite tra coloro che vivono grosse difficoltà di apprendimento. Dove si colloca tale linea, e per quale motivo?

Nella definizione iniziale del problema che porta alla presente ricerca, la matematica inizia a diventare una situazione insormontabile dopo la fine del ciclo scolastico dell'obbligo: non si tratta di mera coincidenza anagrafica, ma sottintende un vero e proprio "cambio di identità della matematica" da una sua struttura rappresentabile concretamente, all'assunzione di una connotazione più astratta.

Finché si tratta delle quattro operazioni di base, o di geometria euclidea, esistono diversi modi di rappresentare, anche in modo fisico, la struttura di ciò che si sta studiando, proprio perché appartenente al mondo fisico del tangibile e del rappresentabile.

Ma come è possibile far comprendere ad un cieco strutture formali non più rappresentabili nella sua fisicità? Si pensi, ad esempio, allo studio delle curve coniche, o allo studio di funzione. A chi o che cosa si deve questo "cambio di identità"?

Se ad una domanda non vi sono soluzioni, può essere che non ne abbia, ma in tal caso non si darebbe ragione della presenza di persone prive della vista che hanno compreso la matematica anche a livelli molto astratti. Ma può anche essere che la domanda, in sé e per sé, sia errata: la matematica come studio di strutture formali ha necessariamente bisogno di una rappresentazione sensorialmente percepibile? O si tratta di una scorciatoia strutturata dal bisogno di rappresentare, per il "solo" bisogno di vedere in modo concreto ciò di cui si tratta? Se così fosse, sarebbe tutta la didattica a dover essere riveduta... l'esperienza di chi l'ha studiata senza vederla sembrerebbe darle ragione.

3.7 Conclusioni

L'articolazione del presente capitolo rappresenta il tentativo di analizzare e collocare la realtà delle difficoltà matematiche della persona cieca, alla luce dei criteri scientifici e diagnostici attualmente noti e stabiliti dalla letteratura in materia di psicopatologia della matematica.

Nello specifico della ricerca pedagogica, questa riflessione intende rispondere ad alcuni quesiti:

1. Alla luce dei modelli scientifici attualmente disponibili, in quale posizione è possibile collocare la realtà della persona cieca?

2. I modelli riabilitativi disponibili in letteratura sono in grado di rispondere alla totalità delle problematiche della cecità in ambito matematico?
3. In caso di risposta negativa, di quali ulteriori elementi dovrebbe dotarsi la psicopatologia della matematica per essere efficace anche in questo campo?

Il linea preliminare, sono già possibili alcune risposte. In primo luogo, a fronte dei paradigmi diagnostici attualmente in uso, il cieco si colloca, quasi per sua natura, al limite della competenza dichiarativa formalizzabile per l'ipotizzazione di euristiche e strategie. Successivamente, le procedure che il cieco è in grado di mettere in atto per la risoluzione comprendono in sé, soggettivamente, degli algoritmi personali, la cui esecuzione è però lasciata alla specifica soggettività della persona che li struttura e li applica. Da un punto di vista esecutivo, la formalizzazione di algoritmi universalmente condivisibili è ancora da concretizzare.

Il motivo di questa mancata generalizzazione risiede sia nella natura della persona cieca, che di per sé fatica a globalizzare, sia nei limiti interni ai modelli riabilitativi in uso. Tali modelli, per i ciechi, sono certamente utili per risolvere situazioni contingenti, creare determinati automatismi (quali ad esempio un aumento mnemonico della quantità di “fatti matematici” al fine di alleggerire il peso dell'applicazione di procedure), ma spesso si limita alla *cura sintomatica* di situazioni contingenti, non avendo la forza necessaria per risalire al sistema delle cause.

In terza battuta, i modelli attualmente disponibili mancano di un approccio preliminare, scontato per la discalculia afferente all'insieme dei disturbi di linguaggio, ma del tutto estraneo a situazioni di deficit di calcolo che, nel caso del cieco, poggiano le loro radici in elementi di tipo pre-matematico e pre-logico tipici dell'età evolutiva e della prima infanzia.

Come si cercherà di delineare nel prossimo capitolo, i primi anni di vita della persona cieca, a patto si tratti di cieco congenito, sono basilari per strutturare esperienze educative sulle quali, successivamente, la persona non vedente può costruire il “suo” mondo matematico, la cui logica talvolta esula dai canoni logici della persona normosensoriale.

Come si vedrà, si tratta di esperienze del tutto ordinarie nello sviluppo psicomotorio e linguistico di ogni infante, ma nello specifico della cecità occupano un'importanza ben maggiore.

La domanda che si pone all'educazione, intesa come classe ordinata di azioni mirate all'incremento di sviluppo umano, è una maggiore attenzione ed enfasi verso alcune tappe dello sviluppo infantile che, se nel bambino normosensoriale avvengono praticamente *sua sponte*, nel bambino cieco devono essere organizzate, strutturate e proposte con regolarità e attenzione.

Da un punto di vista teorico e scientifico, nella loro “straordinaria normalità”, tali prassi identificano una sorta di distacco dalla psicopatologia del calcolo ordinariamente intesa, per

collocarsi a prerequisito della logica matematica e della relativa formalizzazione. Il grande guadagno da un punto di vista pedagogico è che queste metodiche possono tradursi in una didattica spendibile non solo sul fronte della cecità o della disabilità in senso stretto, per poter prefigurare alcuni elementi, sul piano didattico, che sono applicabili e spendibili per ogni soggetto in età scolare, con la speranza di poter dinamizzare la didattica di una materia, la matematica, risultata negli anni talmente problematica da necessitare lo studio di una psicopatologia per risolverne le questioni più spinose.

Alla luce dei recenti fatti di cronaca¹⁰, ci si augura che questa riflessione possa rappresentare un primo inizio per riqualificare l'amore verso una materia di studio troppe volte mistificata, perché troppo spesso trascurata nella sua didattica.

¹⁰ Prefigurata durante l'estate e attuata nei presenti mesi autunnali, l'intenzione da parte del Ministro della Pubblica Istruzione Fioroni di re-istituire gli esami di riparazione alle scuole medie superiori, è ciò in constatazione che ben il 44% degli studenti portava con sé debiti formativi in matematica. In un articolo su La Repubblica del 3 agosto 2007 da parte del matematico Piergiorgio Odifreddi, si punta molto l'indice sulla didattica della matematica, fatta di prassi spesso obsolete e per nulla aderenti alla realtà. In un'efficace metafora, Odifreddi parla della matematica nelle scuole come "il reiterarsi perpetuo per un musicista di scale e solfeggi, senza mai eseguire il brano musicale tanto desiderato"

CAPITOLO 4

I ciechi raccontano

4.1 Introduzione

Nel presente capitolo si riportano i resoconti di incontri, interviste, racconti di vita di giovani studenti e affermati professionisti non vedenti in merito al loro rapporto con la matematica.

A tutti loro va un anticipato e sentito ringraziamento, per il coraggio e la trasparenza con cui sono riusciti a parlare della propria cecità, e delle relative disavventure esistenziali.

Com'ebbe a dire José Saramago nel suo libro "Cecità", *La cecità non si diffonde per contagio, come un'epidemia, la cecità non si prende solo perché qualcuno che non lo è guarda un cieco, la cecità è una questione privata fra un individuo e gli occhi con cui è nato.*

La condizione di cieco non è mai facile, specie in un momento culturale mondiale dominato dallo strapotere delle immagini; il cieco che parla tranquillamente di sé è doppiamente coraggioso, per come affronta il mondo, e per come è consapevole di non vedere senza falsi veli dietro il quale nascondersi. Accettare e accettarsi nella diversità non è mai scontato.

4.2 Incontri, interviste, racconti

Giovani di belle speranze

Nei venti mesi compresi tra febbraio 2004 e ottobre 2005 ho avuto la possibilità di seguire, come pedagoga, un gruppo di una decina di adolescenti ciechi, e relative famiglie, nella zona del centro Italia, condividendo con loro difficoltà e speranze per il loro futuro.

I momenti più importanti e carichi di significato sono stati i due soggiorni estivi presso Rimini, campeggi estivi finalizzati all'apprendimento della vita autonoma in gruppo, della condivisione, del consolidamento delle abilità relative all'orientamento, mobilità e all'autonomia personale.

In questi preziosi momenti in cui non era presente la figura rassicurante e, spesso, sostitutiva, dei familiari, questi ragazzi hanno fatto i conti direttamente con se stessi, con la loro preparazione per affrontare un futuro da persone autonome in un contesto storico che li aiuta poco o per nulla ad integrarsi nel tessuto sociale.

Dalla condivisione delle loro abilità e difficoltà nell'affrontare il quotidiano, ai racconti delle loro vicissitudini scolastiche, nasce il progetto di ricerca sulla matematica per i ciechi che in questa trattazione si è andato a sviluppare, come tentativo di comprendere una situazione percepita come discriminante.

I presenti resoconti risalgono a circa tre anni fa: nel frattempo alcuni di questi hanno trovato lavoro, altri si sono iscritti all'Università, altri ancora sono alla ricerca del loro destino.

Racconto di A., Al momento di scegliere la scuola superiore ho dovuto giocoforza ripiegare sulle poche risorse che il territorio metteva a disposizione. Alla fine mi sono iscritto all'istituto magistrale, non per le materie di studio, ma perché era l'unica scuola il cui dirigente accettasse la mia iscrizione senza particolari difficoltà. Nelle altre scuole dove ero stato mi si ripeteva che loro non erano attrezzati per ospitare studenti ciechi, e con me non avrebbero saputo come fare.

17 anni¹

Ora che frequento da qualche anno, credo di essere stato fortunato: la scuola ha diversi laboratori, da quelli di scienze a quello di geografia, dove sono presenti diversi ausili che posso esplorare con le mani, in modo da farmi un'idea precisa di quello che sto studiando.

Per le materie scientifiche, vengo aiutato molto dai miei compagni e dagli insegnanti: i compagni spesso mi passano i loro appunti, mi aiutano a leggerli e a studiare. Da parte loro, gli insegnanti delle materie scientifiche, come matematica e fisica, cercano di agevolarmi facendomi fare più lavoro possibile in forma orale.

¹ A. è cieco congenito: nato anoftalmico (privo dei globi oculari), è stato protesizzato con due occhi finti per motivi estetici.

Anche nel disegno riesco abbastanza bene, tramite l'utilizzo del piano gommato²; per la matematica posso dire che raramente ho risolto da me dei problemi, in genere mi aiutano molto, specie per la gestione della parte scritta. Nelle interrogazioni alla lavagna, vado con un mio compagno che scrive per me e mi legge i diversi passaggi dell'espressione. Così riesco a studiare in modo abbastanza agevole.

Credo che se avessi frequentato altre scuole con minore disponibilità verso di me, sarei stato costretto a cambiare istituto.

**Racconto di B³,
19 anni** Quando a dieci anni ho subito l'intervento, ho temuto che avrei perso diversi anni di scuola, solo per il fatto che l'intervento mi ha tenuto lontano dalla scuola per circa un anno, tra la parte medica e la riabilitazione.

Invece sono riuscito a continuare le medie, recuperando le parti che avevo perso. Dopo le scuole dell'obbligo mi sono iscritto al liceo linguistico; ammetto che anch'io ho fatto questa scelta per facilità: le materie di studio dello scientifico per me sarebbero state troppo difficili, specie per gli strumenti che sarebbero stati necessari.

Il programma di matematica l'ho sempre svolto con regolarità, ma in questo devo certamente ringraziare la mia famiglia: mio padre è geometra, e si è speso molto per inventare gli strumenti per farmi capire la geometria. Adesso uso bene il computer e la barra braille: grazie a programmi specifici, come il MathLab riesco a fare tutto il programma curricolare, anche se mi ci vuole molto tempo. La mia famiglia ha speso molto tempo e denaro per procurarmi gli strumenti necessari.

Devo dire che mi è stato di molto aiuto anche la spinta incessante della mia famiglia ad essere autonomo, a frequentare sport quali il judo, anche se per

² Si tratta di una comune tavoletta costituita da un supporto in plastica o legno, dotata di una graffa ferma-fogli. Questo ripiano rigido è ricoperto di un sottile strato di gomma, su cui vengono poggiati dei fogli di plastica, della consistenza simile a quelli che si utilizzano per rivestire i libri scolastici. Si scrive con una comune penna a sfera, anche priva di inchiostro: l'attrito generato dalla sfera sul foglio di plastica, a sua volta poggiato sulla gomma, permette che il tratto lasciato venga in rilievo. In tal modo il cieco può scrivere in caratteri romani, tracciare in disegno, che poi verrà nuovamente percepito con i polpastrelli delle dita. Molto diffuso nelle scuole e per lo studio, viene utilizzato e acquistato frequentemente grazie al costo esiguo.

³ B. ha perso la vista attorno ai dieci anni, per le conseguenze derivanti da un delicato intervento chirurgico per l'asportazione di un tumore cerebrale posizionato nella zona occipitale, in corrispondenza della corteccia visiva. A differenza di A, cieco congenito, il modo di pensare di B. è ancora "da ex vedente", tendendo a crearsi un'immagine mentale del mondo a lui circostante

ciechi, in quanto mi permette di capire meglio lo spazio che sta intorno a me.

Ho capito che per un cieco essere autonomi per sé stessi significa anche poter studiare in modo più autonomo. Per noi lo studio non si fa certo solo sui banchi di scuola, anzi! Credo che la parte più importante sia proprio la quotidianità.

Mi hanno già detto che farò l'esame di maturità come tutti gli altri, senza programma differenziato. Il Ministero prevede che per gli alunni ciechi ci sia la sola "facilitazione" della traduzione in braille del programma d'esame. Non sarà facile, ma sono contento così, almeno posso avere un diploma valido per potermi iscrivere all'università. Penso di iscrivermi a scienze della comunicazione.

**Racconto di C⁴,
24 anni** Io sono qui non come partecipante al campeggio, ma come testimonianza. Sono arrivato questa notte con il treno dalla Calabria, viaggio da solo con il bastone ed il mio cane. Sono qui per raccontare a questi ragazzi come ho fatto a diventare autonomo.

So che la scelta della scuola superiore è per un cieco un momento molto difficile: bisogna scontrarsi sia con la disponibilità degli istituti, sia con le materie di studio.

Io ora studio giurisprudenza, e ho fatto il liceo classico. Avevo scelto questa scuola perché c'era poca matematica, ma poi mi ha permesso di iscrivermi all'università e di fare giurisprudenza.

Ho perso la vista un po' alla volta, per cui ho avuto il tempo di metabolizzare la situazione, e di organizzarmi per trovare delle strategie per mantenere la mia autonomia; caratterialmente ho sempre cercato di non far pesare sugli altri la mia condizione, ma ritengo di esser ciò che sono ora grazie ad un lavoro continuo fatto nel tempo.

Adesso che sto per laurearmi, mi rendo conto che determinate cose si fanno solo se le si è costruite nel quotidiano: per un cieco la quantità di possibilità che la vita ti offre dipende estremamente dagli strumenti che tu hai per

⁴ C. è nato ipovedente, ha perso la vista completamente in età adolescenziale, a causa di glaucoma bilaterale che gli ha compromesso la retina

coglierle. Tanto più sai arrangiarti, tanto meno compromessi devi fare tra le cose che desideri e quelle che puoi realmente fare.

Per me è stato così anche nello studio: ho potuto fare ciò che desideravo perché ho ripartito la fatica di essere autonomo con l'esercizio fatto giorno per giorno, senza troppe paure di non farcela.

Ma mi rendo conto che non è per tutti così, sia per risorse del territorio, sia per carattere personale.

Ascoltando e condividendo questi racconti, emergono elementi ben più vasti della sola incapacità di affrontare le materie scientifiche nel curriculum scolastico, ma di cui lo studio della matematica si configura come emblema, come spia d'allarme per situazioni ben più ampie.

In primo luogo, emerge con chiarezza che lo studio delle materie scientifiche per un cieco dipende da molteplici fattori, solo in parte esogeni, quali le risorse territoriali o la disponibilità delle singole istituzioni scolastiche. Fa altresì riflettere come alcune scuole rifiutino la presenza di un alunno non vedente dietro la motivazione "ci dispiace, non siamo attrezzati".

Le implicazioni territoriali sono strettamente legate a quelle personali: non poter accedere ad un certo tipo di istituto, magari collocato in una posizione geografica facilmente accessibile, spinge l'alunno cieco a ricercare risorse disponibili su un raggio geografico maggiore. Poiché la mobilità autonoma per un cieco rappresenta, per definizione, un grosso problema, la lontananza talvolta fa da deterrente insormontabile al perseguire un curriculum di studi scelto sulla scorta delle propensioni personali, spingendo ad indebiti adattamenti dettati solamente dalla maggiore vicinanza o accessibilità.

In secondo luogo, scegliere e affrontare una scuola in modo autonomo implica "l'essere autonomi" a priori, dal momento in cui l'autonomia è prima di tutto una *formae mentis* che il cieco acquisisce a prezzo di lunghi tempi di applicazione e notevoli sforzi personali e familiari. Essere autonomi non è riconducibile alla mera sommatoria di abilità specifiche applicabili ad altrettanti contesti, ma un modo di pensare che crea abilità autonome su un modo di pensare autonomo. A tal proposito, come emerge dai resoconti, fa un'enorme differenza nascere cieco, trovarsi cieco all'improvviso, diventarlo poco a poco.

Infine, ed è lo specifico dello studio della matematica e delle materie scientifiche, il diverso grado di autonomia personale si riflette sugli atteggiamenti e le strategie che di volta in volta si

adottando per affrontare le materie che richiedono studio rigoroso. Gli atteggiamenti e le strategie sono sintetizzabili come segue, da un minimo ad un massimo:

1. atteggiamento di evitamento o riduzione ai minimi termini, *tamquam nullit esse*. È il paradigma di sentirsi “nullo in matematica” descritto da Siety. La matematica esiste, ma non mi compete.
2. Richiesta di adattamenti e semplificazioni eterogenee, con coinvolgimento di compagni e insegnanti per adattare al massimo il curriculum di studi, in modo da impegnare il meno possibile. Assumendo il modello di Cornoldi e Lucangeli come criterio diagnostico, l'approccio alla matematica si limita alla constatazione dell' INPUT, senza analisi approfondita da un punto di vista delle strategie e delle euristiche, che sono mutate da aiuto esterno.
3. Applicazione creativa dell'autonomia allo studio *tout court*. In tal caso si investe creativamente tanto lo studio delle altre materie, quanto quello della matematica e delle scienze. La differenza è solo metodica, ma il ceppo è comune. Dall'evidente e insostituibile apporto da parte della famiglia, come è ragionevole supporre possa essere per qualunque altro studente adolescente, si giunge alla creazione di strategie specifiche per lo studio proposto dall'interessa di un certo percorso scolastico, senza eccezioni alcune. In questa specifica accezione le strategie sono del tutto personali, e sono condivise con altri studenti ciechi solo sulla scorta del “passa-parola” esperienziale. In concordanza con il modello diagnostico di cui al capitolo 3, la formalizzazione si limita al sistema di INPUT e alla conoscenza dichiarativa; per quanto concerne la conoscenza applicativa e le modalità di OUTPUT, ogni cieco fa da sé, con metodi del tutto soggettivi, per quanto efficaci.

In sintesi, l'approccio corretto allo studio in generale, e nello specifico delle materie scientifiche, dipende da una corretta e solida educazione all'autonomia personale, promosso nella persona non vedente all'inizio dell'insorgere del deficit sensoriale.

I resoconti esperienziali delle persone intervistate successivamente tendono a condividere e a falsificare questa ipotesi, lasciando comunque aperta la ricerca a ulteriori ambiti di sviluppo.

Insegnare matematica senza vederla?

Questo secondo contributo delinea il resoconto di un'intervista fatta ad un docente universitario cieco di matematica pura ed applicata.

Conosciuto in prima battuta attraverso la pubblicazione in Internet di alcuni suoi lavori a favore degli studenti ciechi, si è avuto successivamente la possibilità di intervistare alcuni suoi studenti (normosensoriali) del corso di laurea in Scienze Biologiche, all'interno del quale egli insegna.

Dalle testimonianze dei suoi studenti, sorprende quanto egli riuscisse a destreggiarsi nell'insegnamento accademico, talvolta anche senza ausili particolari, ma soprattutto la sua capacità di immaginare lo studio e l'andamento di funzioni matematiche, anche complesse, solamente immaginandone mentalmente l'andamento.

Se l'abilità di insegnare normalmente in contesto accademico sottende certamente delle abilità personali in merito all'autonomia, rimane da scoprire come egli sappia operare lo studio di funzione dalla sola lettura, da parte di altri, della formula sintetica descrittiva della funzione.

La risposta che l'interessato dà apre la ricerca ad ulteriori fruttuosi scenari.

.

D: Professore, lei come riesce a coniugare la sua attività professionale con la mancanza della vista?

R: oggi il lavoro è più semplice grazie all'informatica; esistono dei programmi quali il Tec, il Math ML, il Lambda o il W3C per internet che permettono buone soluzioni anche per i privi della vista; da un punto di vista linguistico, si tratta di cercare dei programmi che permettano di linearizzare le formule; un grosso problema è rappresentato ancora dalla difficoltà di percezione di formule che si pongono, da un punto di vista sintattico, su diverse righe.

D: che cosa consiglierebbe da un punto di vista strumentale agli studenti ciechi che vogliono studiare matematica?

R: con le nuove tecnologie, certamente l'uso del pc, con display braille e sintesi vocale; per l'input va insegnato correttamente l'uso della normale tastiera del pc, per cui è necessario orientarsi bene con la dattilologia; come output, la sintesi vocale in parallelo al display braille, in modo da sentir pronunciare l'esito del proprio lavoro con la voce, e da poterlo controllare in modo lineare con la barra braille.

D: il computer sembrerebbe insostituibile, allora.

R: certamente no, ai miei tempi non c'erano; se così fosse, io non avrei potuto studiare. Il calcolatore è un grande supporto, ma non sostituisce il pensiero.

D: lei come ha fatto a studiare matematica?

R: premettendo che io ho perso la vista in età adolescenziale, durante lo studio universitario devo molto alle persone che studiavano con me, che mi ripetevano a voce quanto era spiegato a lezione; non da ultimo, devo molto ai docenti che sono stati disponibili a rendere la maggior parte degli esami in forma orale.

D: ma la matematica, almeno entro certi livelli di astrazione, ha bisogno di essere rappresentata; Lei come riesce a rappresentarsi mentalmente una struttura matematica?

R: io non so di preciso come rappresentare, ma se ci pensa, anche chi vede ha le stesse difficoltà. Ad esempio, per il concetto di infinito, sia vedenti sia ciechi, hanno bisogno di immaginare. La mente astrae dalla pura rappresentazione. Per i ciechi è una battaglia personale contro le difficoltà, ma nel caso della matematica, certo servono delle inclinazioni personali; bisogna essere portati per questa materia. La matematica ha un suo linguaggio; dati per acquisiti gli elementi base, ci si può capire usando correttamente le regole di questo linguaggio. La matematica sono delle regole che, applicate correttamente, portano ad un risultato; e la capacità di combinare insieme gli elementi di questo linguaggio permette di descrivere le cose più complicate. Alla fine, le rappresentazioni sono astratte per chiunque. Pensi, ad esempio, ai grafici rappresentanti le funzioni che si trovano in alcuni libri di testo: se lei traccia correttamente il grafico di una funzione esponenziale, si rende conto che per rappresentarlo correttamente servirebbe un foglio molto grande, incontenibile nei normali libri di testo; le immagini che ci sono sui testi sono per forza di cose approssimate e fuorvianti, ma molte volte gli studenti non se ne rendono conto.

D: Il mio docente – Tutor, ordinario di pedagogia speciale, in una delle sue pubblicazioni a carattere filosofico – scientifico, ha definito la matematica come “dominio delle relazioni”: Lei che cosa ne pensa?

R: La matematica è calcolo simbolico, logica, ragionamento, deduzione; è esigenza di rigore assoluto. Rispetto alla sua definizione, dovremmo definire che cosa si intende per relazione. In matematica si costruiscono delle ipotesi su assiomi accettati per veri, che fanno da base. Sono molti i sistemi di assiomi che posso essere scelti, e sui cui costruire; teoricamente esisterebbero infinite matematiche che poggiano su infiniti sistemi di assiomi, che accetto per veri. I calcoli, le relazioni e il linguaggio sono una conseguenza: la matematica è metodologia, e tale metodologia

consente di fare matematica non rappresentabile, non esperibile. È proprio questo rigore che permette alla matematica di essere accessibile anche ai ciechi, è un ragionamento.

D: ciò che dice mi fa riflettere: è come se, nei confronti di tutta quella matematica non rappresentabile nello spazio cartesiano o tridimensionale, il cieco sia avvantaggiato, perché non è legato alla necessità di una rappresentazione visiva.

R: sì, credo sia così.

D: le faccio una domanda da insegnante: che cosa direbbe a tutti gli insegnanti di matematica?

R: l'insegnante non deve essere colui che semplifica: se la matematica è linguaggio, deve essere imparato nella sua completezza, e l'apprendimento è sempre difficile. L'insegnante deve essere un creatore di occasioni.

D: la ringrazio per due cose importantissime, professore: in primo luogo per quanto mi ha fatto capire, in secondo luogo, perché l'ho spinto a parlare in modo forte della sua cecità: me ne scuso, credo non sia stato facile.

R: per me non è un problema, perché ho accettato la mia condizione, e questo è prerequisito fondamentale per parlarne. Sono molte le persone cieche che non accettano di esserlo. Credo che accettare di essere cieco sia il primo passo per poter progettare la propria vita.

Secondo una delle ipotesi iniziali, si è scelto di considerare la matematica come scienza che studia le relazioni tra strutture formali tramite un linguaggio simbolico: tale definizione, al nostro docente cieco, suona come provocazione, che egli integra e supera.

Innanzitutto, bisogna scegliere che cosa si intende per relazione e per sistema di relazioni; in un secondo momento, si potrà definire con quali linguaggi esprimerle.

In termini di ricerca scientifica, la definizione che si dà di una certa scienza può fare delle grosse differenze, rispetto agli esiti dei problemi che la medesima ci propone; chiaramente, tale definizione è una scelta precisa, che implica delle assunzioni di responsabilità.

La scelta di considerare la matematica da un punto di vista del linguaggio e delle procedure permette di avvicinarla maggiormente alla realtà delle persone che non vedono, poiché la non possibilità di vedere rappresentato il prodotto di un certo pensiero impone di esprimerlo tramite un linguaggio simbolico non iconico, ma essenzialmente linguistico, sintattico, semantico e univoco.

Come confermato nell'intervista, considerare la matematica alla stregua di una lingua nuova, che va appresa e applicata con tutto il rigore delle sue regole, consente al cieco di accedervi, e in taluni

casi di andare oltre i condizionamenti che la stessa vista impone, quali i livelli di rappresentabilità di strutture che non possiedono una formalizzazione nello spazio cartesiano. La rappresentazione visiva della matematica può essere utile, quanto affascinante (si pensi ad esempio all'andamento di curve, quali i frattali), ma altrettanto fuorviante: quanto una struttura formale non possiede elementi di rappresentabilità, solo la rigida e coerente applicazione di una sintassi permette di renderne appieno la sua realtà astratta. In questa accezione, non è azzardato affermare che il legame ad una rappresentazione visiva rappresenta un condizionamento limitante di cui il cieco è fortunatamente privo, proprio per il suo accesso "non visivo".

La matematica è rappresentazione del reale: se consideriamo le strutture di cui la realtà è composta solo mediate da una logica visiva, il cieco sarà sempre e necessariamente condannato ad avere solo un'intuizione della sua struttura interna, rappresentazione veicolata ed imposta da parte di chi ha il supposto primato della vista; ma anche "vedere" il reale è una scelta: se imposta, in una prospettiva squisitamente pedagogica, obbligheremmo tutte le persone non vedenti ad adattarsi ad immaginare parzialmente ciò che chi vede può invece percepire tangibilmente.

Parlare ad un cieco della realtà che lo circonda impone obbligatoriamente delle scelte linguistiche, in chiave di una terminologia che gli sia comprensibile da parte del suo modo di percepire il mondo: la matematica non fa eccezioni, e va espressa con quegli strumenti che il cieco può comprendere.

Allo stesso modo, nella gestione dello spazio/tempo, il cieco deve strutturare delle strategie di gestione degli elementi del reale che sono diverse rispetto a chi possiede il canale visivo, e che sovente sono del tutto personali.

Ma diverse non significa peggiori: in primo luogo perché sono un adattamento che permette in ogni caso di raggiungere il risultato; in secondo luogo perché, come l'intervistato dimostra, la percezione di alcune strutture simboliche attraverso il canale visivo risulta fuorviante se non impossibile.

Che alcuni elementi di psicopatologia della matematica siano ascrivibili ad un'oggettiva difficoltà della materia, è opinione accettata e condivisa; ma è altrettanto plausibile supporre che la supposta natura elitaria di tale materia sia riconducibile ad un altrettanto elitario o erroneo modo di esporla.

Nella sua ricerca di soluzione ai problemi di comprensione, la psicopatologia della matematica sta cercando di tradurre questo linguaggio in una più ricca e articolata terminologia che la renda accessibile ad una quantità/qualità di persone maggiore.

Se quest'opera di traduzione si concretizza e manifesta in termini di ricerca didattica, la strada da fare è ancora molta: ma i risultati esistono già, come dimostrano le differenti abilità delle persone che li hanno raggiunti.

Non è la privazione visiva a mancare di strategie, ma un linguaggio ancora troppo muto per esprimerle. Specie quando il non vedere permette di comprendere delle strutture simboliche per cui la percezione visiva risulta addirittura ostacolante.

Matematica teorica e matematica applicata: l'esempio dell'informatica

Questo terzo contributo rappresenta il resoconto dell'ultima intervista fatta durante il triennio di ricerca che porta alla presente stesura.

L'importanza, che già si vuole anticipare, deriva dal suo essere sintesi delle istanze già espresse in precedenza, sia da parte di giovani studenti, sia da parte di adulti autonomi e professionisti, quali quelli di cui si racconta nelle pagine precedenti.

Il racconto esperienziale di questo giovane informatico non solo va a rafforzare gli elementi pedagogici già ipotizzati in precedenza, sia in termini di educazione all'autonomia, sia in termini di uso esteso del linguaggio, ma ne contestualizza gli elementi interni, fornendo anche importanti fonti di tipo didattico.

Il contenuto dell'intervista era già stato brevemente anticipato via posta elettronica, in modo da fornire all'intervistato gli elementi cardine dell'esposizione. Da parte sua, ha potuto confermare di conoscere personalmente il docente di cui si parla nelle pagine precedenti, avendo più volte condiviso insieme il lavoro.

L'intervista è stata condotta in modo non direttivo, lasciando all'intervistato la più ampia discrezionalità in merito alla scelta del filo conduttore. Come si può evincere dai contatti preliminari via mail, le informazioni scambiate erano tese solo a trovare un momento e un luogo di incontro comune; solo nella prima, da parte di chi scrive, l'argomento era stato molto succintamente anticipato.

Prima del resoconto dell'intervista, si riportano copie delle mail scambiate per la preparazione dell'incontro.

| Data e Mittente | Contenuto |
|---------------------------|---|
| 24/08/2007 Fabio Corsi | <p>Gentilissimo Dott:</p> <p>mi chiamo Fabio Corsi, sono dottorando di ricerca presso la facoltà di Scienze della Formazione dell'Università di Verona; sto sviluppando la mia ricerca sulla didattica della matematica per i ciechi; ho trovato il Suo contatto e il Suo nome ricorrente nei diversi siti che ho consultato, e il Suo nome mi è stato fatto anche dal prof. G. A., che ho avuto il piacere di intervistare lo scorso anno.</p> <p>Avrei piacere di incontrarLa per condividere lo stato dell'arte delle mie ricerche, e per un confronto sull'argomento. Stante la sua disponibilità ad incontrarmi, la posso raggiungere senza problemi.</p> <p>Oltre alla presente mail, lascio recapito telefonico.</p> <p>Con cordialità Fabio Corsi</p> |
| 08/09/2007 Risposta | <p>Buongiorno,</p> <p>Mi scuso per il ritardo con cui rispondo. Ero all'estero per un progetto che sto seguendo e ho ripreso solo ora la sua e-mail. Mi fa molto piacere poterla incontrare per uno scambio di idee. Se a lei va bene potremmo incontrarci a Milano. Mi faccia sapere quando a lei e' possibile. Per me e' piu' semplice di sabato, ma anche durante la settimana con qualche vincolo di tempo in piu'.</p> <p>Se preferisce posso anche su skype di sera.</p> <p>Cordiali saluti</p> |
| 10/09/2007 Fabio Corsi | <p>Gentilissimo dott.:</p> <p>La ringrazio per la cortese risposta, di cui comprendo perfettamente la tempistica: la mia vita professionale si divide tra l'università e la libera professione, con calendari lavorativi talvolta impossibili. Andrebbe benissimo anche per me il sabato. Propongo già il prossimo 15 settembre, nel quale avrei possibilità di essere a Milano nel primo pomeriggio, con arrivo alle 14.45. Se le può andare bene la data e l'orario, le chiederei delle indicazioni per poterla raggiungere. Diversamente le propongo direttamente ottobre, in quanto la settimana successiva sarò in Sicilia per lavoro.</p> <p>Con cordialità Fabio Corsi</p> |
| 12/09/2007 Risposta | <p>Benissimo. Ci sentiamo a fine Settembre per definire una data. Grazie, saluti</p> |
| 06/10/2007 Risposta | <p>Buongiorno,</p> <p>Sabato della prossima settimana o di quella successiva sarei disponibile per un incontro. Forse meglio in tarda mattinata o primo pomeriggio, ma possiamo accordarci non appena individuato il giorno.</p> <p>Mi faccia sapere Cordiali saluti</p> |
| 07/10/2007 Fabio Corsi | <p>Gentilissimo:</p> <p>confermo la mia disponibilità per Sabato 13 ottobre.</p> <p>Lascio a lei la scelta dell'orario, posso arrivare in qualunque momento.</p> <p>Le chiedo solo l'indirizzo o il luogo in cui le farebbe più comodo incontrarci.</p> <p>Con cordialità Fabio Corsi</p> |
| 08/10/2007 Risposta | <p>Se riesce ad arrivare presto (9 circa) in via Comelico 39 (dipartimento di scienze dell'informazione) sarebbe comodo così avremmo 2:30 ore circa a disposizione prima che il dipartimento chiuda. Altrimenti potremmo incontrarci in una biblioteca di Milano o in un bar.</p> <p>Mi faccia sapere</p> |

| | |
|---------------------------|---|
| | Saluti |
| 09/10/2007 Fabio Corsi | Gentilissimo C.: direi che va bene per sabato mattina verso le 9.30, tempo di arrivare da Verona Lascio miei recapiti in caso di comunicazione telefonica veloce Con cordialità Fabio Corsi |
| 10/10/2007 Risposta | ECCO I MIEI RECAPITI: UNIVERSITA: xxx CELLULARE: yyy A SABATO |

L'incontro si svolge nella mattina di sabato 13 ottobre, come accordato:

R: Benarrivato!

D: Grazie, soprattutto per la tua disponibilità!

R: Allora! Nelle e_mail che mi hai spedito sei stato molto chiaro in merito alle cose che vuoi chiedermi. Ti proporrei, per rendere la cosa più fluida, di partire io con il racconto, così come ho potuto ordinarlo. Se in corso d'opera hai delle domande particolari, possiamo approfondire.

D: D'accordo.

R: Come sai, sono laureato in informatica, con dottorato di ricerca. Sono cieco dalla nascita, gemello; anche mia sorella è cieca. Pura avendo la stessa età, i nostri genitori non hanno mai voluto tenerci nella stessa classe, fin dalle elementari. Ci hanno sempre stimolato molto ad arrangiarci, ad esplorare lo spazio circostante. Ora queste stimolazioni di allora mi sono estremamente utili, sia per gli spostamenti autonomi, sia per gestirmi la quotidianità domestica. Certo, la quotidianità per un cieco non è mai facile, e implica la gestione precisa dell'ordine. Talvolta mi capita di lasciare delle cose in giro, e mi ci vuole molto tempo per capire dove le ho lasciate.

Da un punto di vista scolastico, c'è uno strumento che mi ha sempre accompagnato, il piano gommato. Ho iniziato ad usarlo già alle elementari, e me lo sono portato sempre anche nello studio universitario.

Alle elementari sono stato fortunato, perché ho avuto un insegnante con il gusto della sperimentazione: non mi ha mai proposto un programma differenziale, ma è riuscito ad adattare la didattica in un modo che andasse bene tanto per me quanto per gli altri. Chiaro, nel mio caso erano necessari alcuni accorgimenti strumentali, ma il programma è sempre rimasto lo stesso per tutti. Mia sorella non è stata altrettanto fortunata.

Nell'insegnamento della matematica abbiamo fatto tanto uso dei regoli: in questo modo potevo rappresentarmi ed esplorare tattilmente i concetti di unità, decine, multipli e sottomultipli, etc...

ho imparato la gestione colonnare delle operazioni dapprima con l'uso del cubaritmo⁵ poi, più avanti, con l'uso della dattiloritmica⁶ per esprimere le operazioni in colonna direttamente in braille. Per la scrittura delle espressioni lineari ho sempre usato la dattilobraille⁷. L'insegnante delle elementari nelle ore di matematica ci ha fatto lavorare molto con i numeri su basi diverse; credo che il primo amore per l'informatica nascesse da lì; quanto meno, lavorare con numeri su basi diverse, per l'informatica mi è stato utilissimo, quando in un sistema numerico diverso dal decimale, due più due fa un numero diverso da quattro. Altrettanto utile mi è stato lo stimolo a descrivere verbalmente l'algoritmo che andavo ad applicare.

Alle scuole medie i miei strumenti di lavoro sono stati essenzialmente la dattilobraille per la scrittura dei testi dei problemi, la dattiloritmica per la struttura colonnare delle operazioni, ma sempre mi ha accompagnato il piano gommato, con il quale nel disegno tecnico ho avuto modo di comprendere le proiezioni ortogonali e la scomposizione in due dimensioni di solidi in tre dimensioni. In questo modo ho potuto costruire il concetto di simmetria rispetto agli assi e alle bisettrici.

Riuscivo a fare anche educazione artistica, associando diversi colori con diversi materiali, che esploravo tattilmente.

Alle medie mi è nata la passione per la chimica.

Lo studio delle reazioni elementari, della loro riproducibilità sono stati per me l'inizio al metodo scientifico, tanto che per le medie superiori avrei scelto l'istituto per periti chimici, ma il preside della scuola era un po' "refrattario". Non avendo trovato questa sua disponibilità, ho scelto il liceo scientifico.

Al liceo ho avuto un insegnante di disegno molto esigente sulle proiezioni, che ancora una volta facevo sul piano gommato: tutto questo esercizio nel disegno è stato fondamentale per

⁵ Nella sua veste commerciale, il cubaritmo consiste in una scatola suddivisa nel suo interno da un centinaio di cellette, di circa un centimetro di lato; nel suo interno vanno posizionati dei cubetti, in dotazione con l'ausilio, sulle cui facce sono proposti in rilievo dei punti braille, nelle combinazioni da zero a quattro; la quantità "tre" è rappresentata in due modi, in struttura a "L" e in diagonale. Serve a molteplici scopi, quali quello della prima percezione tattile dei punti braille, alla struttura colonnare e in riga dei raggruppamenti, alla creazione di serie e insiemi ordinati. In linea di principio serve a enfatizzare la "ritmicità" del fare matematica, da un punto di vista spaziale ed insiemistico.

⁶ La dattiloritmica è l'evoluzione logica del cubaritmo. Commercialmente la veste esteriore è simile, ma nel suo interno trovano alloggio diverse celle braille, di grandezza 2x1 cm, con punti braille indipendenti. Ogni punto braille di ogni cella può essere attivato o disattivato in rilievo: in questo modo è possibile letteralmente scrivere in braille. Dotato di circa dieci righe per quindici colonne, nella versione più comune, permette di scrivere lettere e numeri, si presta molto bene per la scrittura colonnare delle operazioni matematiche.

⁷ La dattilobraille è una vera e propria macchina per scrivere. La tastiera si compone di sette tasti, uno per ogni punto del carattere braille, il settimo tasto come barra spaziatrice. È il primo ausilio che permette di scrivere in braille dopo tavoletta e punteruolo.

rappresentarmi mentalmente lo spazio, le sue diverse vie di accesso e di rappresentazione, i concetti di invarianza della forma a seconda del punto di vista.

L'insegnante di matematica, poi, era uno di quelli "vecchio stile", che chiedevano le dimostrazioni, facevano fare un sacco di esercizi, non ha mai concesso il benché minimo favoritismo alla mia condizione. È stato un periodo duro, ma utilissimo.

Al liceo ho cominciato a scoprire l'utilità del computer per fare matematica, con molti stratagemmi creati da me.

A quel tempo i pc funzionavano ancora con il sistema operativo MsDos: io avevo essenzialmente bisogno di un programma che producesse delle linee, e che mi dicesse con chiarezza che cosa stava sotto e cosa stava sopra la linea; chiaramente l'obiettivo era gestire le operazioni matematiche che si presentavano con maggiore frequenza: il programma del biennio delle superiori fa molto uso di funzioni fratte. Avevo capito che, tracciata la linea, potevo leggere con la barra braille il contenuto di singole righe: con la mano sinistra leggevo il denominatore, e con la mano destra il numeratore, in questo modo potevo trovare i termini simili, e operare le opportune semplificazioni. Nel tempo ho affinato la tecnica, producendo da me stesso delle "macro"⁸ per la gestione della bidimensionalità. In questo modo riuscivo a gestire anche operazioni matematiche meno "statiche", come le disequazioni.

Poi all'università, sia per il "tirocinio" che avevo fatto, sia per la disponibilità di altri programmi, la cosa è stata un po' più facile. La matematica riuscivo a gestirla con software come il L^AT_EX e il MathLab, programmi che permettono anche di rappresentare la matematica in tre dimensioni, facendone la descrizione. Ma non mi sono mai scordato il mio piano gommato, indispensabile tanto per prendere appunti, quanto per presentare degli elaborati agli esami, elaborati che conservo ancora oggi (*me ne fa vedere alcuni*, n.d.r.).

Il piano gommato ancora una volta mi è stato indispensabile per rappresentare i circuiti elettrici per lo studio dell'esame di Fisica 2.

D: sono semplicemente stupefatto! Ciò che mi hai raccontato va ben oltre qualunque mia aspettativa: non solo va a confermare quanto già avevo ipotizzato, ma mi hai fornito anche degli elementi pratici di prima mano, che sono indispensabili nel momento in cui, come pedagogo, si pensa alla didattica della matematica.

⁸ Una "macro" è una procedura automatizzata che un utilizzatore può produrre all'interno di un singolo programma di lavoro, ed evocare ogni volta che serve utilizzando un solo comando. È una sorta di "micro programma" nel programma, per automatizzare quelle operazioni che si fanno con maggiore frequenza

R: ne sono felice. Vedi, come dicevamo prima, non credo vi sia la necessità di ideare chissà quali stratagemmi per permettere ad un cieco di affrontare materie scientifiche. Devo anche ribadire di essere stato fortunato: le basi mi è stato permesso di costruirmele fin dall'infanzia, grazie agli stimoli che ho ricevuto dalla mia famiglia, e ad un insegnante elementare che non aveva bisogno di fare dei “distinguo”, poiché il suo modo di insegnare è risultato utile e applicabile con tutta la classe.

D: che rapporto consideri tra il tuo livello di autonomia personale e la tua formazione accademica?

R: certamente un rapporto virtuoso: l'una mi ha permesso l'altra, e continuano ad alimentarsi a vicenda.

D: tu sei un informatico. Studiare in questo contesto ti ha avvantaggiato nella ricerca e utilizzo di software specifici? Apparentemente la domanda è scontata, ma so che non lo è...

R: infatti! Esiste ancora oggi pochissima letteratura disponibile sui formati elettronici accessibili ai disabili in generale, e ai ciechi in particolare.

D: eppure mi pare siamo ad un livello di conoscenza tecnologica che dovrebbe permettere tutto questo senza problemi...

R: sicuramente! Ma l'avanzamento tecnologico a volte avversa condizioni come la mia, anziché avvantaggiare. La ricerca tecnologica segue le leggi di mercato, perché è lo stesso mercato che la alimenta. Anche qui vige la legge della domanda e dell'offerta.

D: come ti anticipavo nelle e_mail, con il nostro comune amico, che si occupa di software per la disabilità e la cecità, discutevamo proprio di queste cose. Mi illustrava come ora vi sia un progetto europeo, nel quale anche tu sei coinvolto, che estenda programmi di linearizzazione delle formule⁹ anche per la fisica e la chimica. Che cosa ne pensi?

R: è sicuramente una grande cosa, in termini di accessibilità, ma non bisogna esasperare questo processo. È concettualmente sbagliato pretendere di linearizzare tutto: lo studio delle matrici, ad esempio, non lo permette. La si può descrivere concettualmente, ma una matrice è per definizione bidimensionale; una volta linearizzata, non è più una matrice. Questo vale per la matematica. Per l'informatica ci sono delle implicazioni pratiche: ciò che linearizzo aumenta

⁹ Con questo procedimento si tende a creare un linguaggio che renda accessibili formulazioni scientifiche complesse in forma lineare, ossia su una sola riga. Questo procedimento si rivolge essenzialmente ai ciechi, poiché renderebbe più facile la traduzione di un'espressione algebrica da parte della notazione braille, che utilizza sistemi di righe in successione, leggibili con un comune display braille.

sempre i tempi di elaborazione dell'informazione: talvolta questo aumento di tempo diventa inaccettabile.

D: un'ultima domanda, di "sapore" sociale. Sei dottore di ricerca, e collabori attivamente in questo dipartimento: com'è fatta la realtà dei ciechi che si occupano di scienza?

R: rispetto alla matematica, sono molti i ciechi che la teorizzano, pochi che la fanno in pratica. Lo stesso docente che hai intervistato lo scorso anno, per sua professione si occupa espressamente di fondamenti di matematica pura ed applicata: tieni presente che lui ha studiato prima che ci fossero gli ausili tecnologici. Attualmente, a livello mondiale, sono molti gli scienziati ciechi, ma si occupano quasi esclusivamente di teorie, pochissimi di tecnologia e di ricerca pratica

D: beh, ci vogliono anche quelli, no?

R: direi proprio di sì, e meno male che ci sono! È ricerca anche quella, e a pieno titolo!

4.3 Sintesi

I resoconti riportati nel presente capitolo rappresentano la scelta tra gli incontri più significativi, operati nel corso del triennio di ricerca.

I molti altri effettuati sono stati omessi, non per minore dignità, ma perché meno rappresentativi degli elementi salienti che sostenevano l'ipotesi.

La domanda definitiva allora diventa: un cieco, congenito o meno, ha maggiori o minori possibilità di comprendere la matematica e le materie scientifiche rispetto ad un soggetto normosensoriale di pari età?

A parte i doverosi distinguo in merito all'insorgere della cecità, di cui si darà ragione in dettaglio nella parte in appendice, le persone prive della vista, o coloro che l'hanno perduta, fanno all'educazione una domanda precisa, quella di essere accompagnati verso un percorso di autonomia personale e logica che permetta loro, in prima battuta, di affrontare il mondo allo stesso modo delle persone normosensoriali.

Quanto questo sia possibile, lo confermano buona parte delle testimonianze riportate in questa sede.

In secondo luogo, come logica conseguenza, la matematica è a pieno titolo una parte della realtà che ogni persona affronta nella vita quotidiana, senza distinzioni di patrimonio genetico o abilità sensoriali.

Da parecchio tempo illustri matematici¹⁰ sostengono che la matematica è integralmente parte della realtà quotidiana, molto più di quanto coscientemente ogni persona sia portata a pensare; la qual cosa fa ragionevolmente supporre che la famigerata elitarietà della matematica per i soli addetti ai lavori sia, ancora una volta, solo una mistificazione.

¹⁰ A titolo di esempio: in un'intervista radiofonica di Rai Radio2 del 25 ottobre 2007 u.s., il prof. Furio Honsell, ordinario di statistica presso l'Università di Udine, ha riportato numerosi esempi dell'uso di complessi algoritmi matematici nella pratica della quotidianità, molti dei quali vengono svolti in automatico in forma inconsapevole. Uno dei più curiosi, per la complessità matematica che sottende e per la disinvoltura con cui viene operato, è la pratica secondo la quale, ogni qual volta comperiamo qualcosa, si cerca di lasciare alla cassa la maggiore quantità di moneta possibile, per riceverne di resto il meno possibile. Matematicamente si tratta di un sottile calcolo combinatorio.

CAPITOLO 5

Conclusioni

Il presente lavoro di ricerca si sviluppa, nella sua veste formale di dottorato di ricerca, a partire dall'anno 2005, ma le sue origini risalgono già al quinquennio precedente.

La problematizzazione dell'educazione del soggetto cieco inizia nel gennaio dell'anno 2000, e da allora si sviluppa con quotidiana regolarità; in parallelo, dall'autunno del medesimo anno iniziano i corsi specialistici in psicopatologia della matematica nei corsi per operatori specializzati per il sostegno, nelle scuole di grado inferiore e superiore.

Sintetizzare teoricamente i due ambiti rappresentava, prima di un dovere professionale e deontologico, una situazione inevitabile, trovandosi continuamente a dover rispondere a questioni che implicassero la conoscenza e il collegamento teorico e pratico ad ambo le categorie.

Il cieco chiede da sempre, all'educazione speciale, le buone prassi e le strategie da imparare per essere una persona completa e integrata nel tessuto sociale.

Chi non vede tende per sua natura a parcellizzare il mondo in ambiti che di volta in volta lo toccano o lo interessano: mancando della vista, la realtà è percepita solo per i suoi elementi toccabili e immediatamente percepibili, mancando di globalizzazione. La conseguenza educativa è che sovente i bisogni che il cieco esprime sono di tipo sintomatico, e solo a quelli chiede risposta. Più difficilmente è proponibile un approccio di ampio respiro, perché è difficile renderne l'importanza; ma perseverare nella parcellizzazione sarebbe un grossolano errore pedagogico, che chi si occupa di educazione non dovrebbe fare: il fatto che la domanda sia sintomatica, non significa che lo debba essere anche la risposta.

Studiare la psicopatologia della matematica, nell'economia dell'educazione del cieco, è stata un'insostituibile ginnastica logica e mentale, dovendo affrontare la materia e le relative implicazioni nella sua interezza e nei suoi diversi ambiti.

La parte della presente trattazione, che si occupa della psicopatologia della matematica, è stata letteralmente “distillata” da quanto il dibattito scientifico e la letteratura ha messo a disposizione negli ultimi dieci anni. Dalla sintesi di quel discorso scientifico si sono sviluppate le pagine presenti qui, e che sono state proposte e collaudate come materie di studio con centinaia di insegnanti specializzandi.

Il rigore con cui la matematica, e la relativa psicopatologia, presenta i suoi modelli diagnostici e riabilitativi è stato di importanza fondamentale, per comprendere quale posizione riconoscere alla persona priva della vista in merito all'apprendimento delle materie scientifiche, collocando il cieco al livello di comprensione linguistica e dell'intuizione euristica, senza che le diverse prassi di risoluzione potessero essere riconducibili ad alcun modello riabilitativo attualmente condiviso.

Ancora una volta l'educazione del cieco ha dato l'impressione, alla riflessione pedagogica, di dover dipendere da una parcellizzazione sintomatica delle strategie, volte a curare ed arginare aspetti del tutto peculiari, senza potersi occupare dello sviluppo della persona nella sua globalità. Ne sono numerose testimonianze i limiti imposti dai diversi modelli riabilitativi, utili per situazioni contingenti, ma nessuno sufficiente per raggiungere le cause.

Il reale punto di svolta nella ricerca proviene dalla condivisione delle diverse esperienze esistenziali e professionali con le persone cieche che “ce l'hanno fatta”, comprendendone a fondo il percorso: la loro esistenza è già di per sé evidenza fisica che qualcosa è possibile fare, rimanendo da risolvere le questioni relative alla loro logica interna in primo luogo, ed in secondo luogo della loro incomprensibile mancata diffusione.

Si inizi dalla seconda questione, sintetizzabile come segue: perché se alcuni ciechi hanno raggiunto l'autonomia di scelta in una materia di studio così particolare, altri ciechi non ne sanno nulla?

La risposta, abbastanza esplicita, si trova nelle testimonianze di ogni cieco a qualunque età: integrarsi socialmente è un percorso difficilissimo, che implica l'incontro/scontro con innumerevoli resistenze di tipo sociale e culturale. Certamente esiste un vantaggio per chi risiede nei grandi centri urbani, ma per chi vive nei paesi o nelle province minori la gestione della quotidianità è già sufficientemente pesante da escludere condivisioni a priori di pratiche di questo genere. Quindi, il cliché stereotipico della matematica fa il resto: poiché è opinione sbagliata ma condivisa che per la matematica bisogna “anche” essere portati, meglio lasciare perdere fin dall'inizio, a meno che non si debba per forza, come nel caso di curricoli scolastici che ne obblighino lo studio.

In merito alla prima questione, le implicazioni teoriche sono più inquietanti:

per quale motivo non è possibile collocare diagnosticamente ogni persona non vedente, e relative difficoltà, nel paradigma analitico delle difficoltà matematiche?

Le risposte potenziali sono almeno due:

1. il paradigma è insufficiente;
2. la domanda di fondo è sbagliata

Analizzare le difficoltà matematiche delle persone non vedenti, alla luce dei criteri diagnostici disponibili dalla psicopatologia della matematica, implica accettare l'assunto che ogni cieco sia discalcolico, e ciò è palesemente falso, quanto meno perché indimostrabile; oltretutto, la presenza di autorevoli testimonianze di professionisti in materia manifesta esattamente il contrario.

In secondo luogo, per poter dire che un certo tipo di sistema diagnostico e riabilitativo sia insufficiente, è necessario risalire e falsificare alla sua logica di fondo.

Ad un'analisi controfattuale delle testimonianze riportate, in nessun caso emergono disturbi specifici nel calcolo matematico: si va dal caso del "nullo in matematica", al matematico "occasionale" per gestire il quotidiano, al professionista. Altri casi di studio affrontati nel percorso di ricerca e non riportati nei resoconti, testimoniano, coerentemente con gli esempi qui citati:

- difficoltà in matematica correlate totalmente con difficoltà nella gestione del quotidiano; situazioni per le quali i metodi riabilitativi per la matematica fungono da semplici palliativi;
- nessuna difficoltà specifica a sostenere il programma curricolare di matematica nelle persone cieche sufficientemente "emancipate" alla gestione della quotidianità.

L'interesse si deve, per cui, spostare dalle persone non vedenti deficitarie nella loro autonomia personale, verso coloro che sono prive della vista ma che sanno bastare a sé stessi: in che cosa differiscono?

Il primo e più importante problema che il cieco deve risolvere è relativo alla comprensione e gestione dello spazio, spazio che non può vedere, ma che deve interpretare. Da un punto di vista evolutivo (se trattasi di cieco congenito) o riabilitativo (se la perdita della vista è successiva) si concretizza nel consolidamento dei concetti topologici, in termini di lateralizzazione, alto, basso, sopra, sotto, nonché i concetti temporali derivati di prima e di dopo.

A questa prima basilare educazione di psicomotricità cognitiva, necessaria per la gestione dello spazio fisico, segue la gestione dello spazio simbolico, come hanno testimoniato i due matematici esperti. Un lungo tirocinio dall'infanzia alla maturità, relativo alla gestione delle dimensioni, permette anche di cimentarsi nello studio della matematica, che dello spazio fa un ampio uso.

Consolidati questi meccanismi psicologici, non è difficile immaginare quanto la quotidianità sia funzionale alla matematica, e vice-versa, come indicato dall'informatico.

Si noti, a tal proposito, che una nutrita parte dei modelli riabilitativi della psicopatologia della matematica fanno riferimento alle difficoltà di tipo visuospatiale e alla gestione colonnare e posizionale delle cifre nelle procedure di calcolo.

Come gestire poi la codificazione matematica che esula da una rappresentazione spaziale? L'intervista al matematico evidenzia in modo chiaro quanto sia importante l'uso rigoroso del linguaggio, nella decodifica semantica e numerica delle espressioni. Usato in modo rigoroso, il linguaggio è già di per sé possibilità di studiare funzioni matematiche che hanno comunque una rappresentazione dello spazio.

Partendo dal presupposto che gestire lo spazio per un cieco rappresenta, in ogni caso, un grosso sforzo, l'interpretazione lessicale delle funzioni matematiche è una forte economia di fatiche.

L'uso del linguaggio nel cieco si manifesta talvolta in modo ingannevole: nel fenomeno diffuso dei verbalismi, vere e proprie stereotipie, l'eloquio fluente spesso nasconde fraseggi vuoti di significato. Come la psicologia dello sviluppo evidenzia, esiste una stretta correlazione tra lo sviluppo psicomotorio e il linguaggio: allo stesso modo nei ciechi i verbalismi sono tanto più presenti quanto più sono deficitarie le competenze cinestesiche.

Ancora una volta troviamo delle importanti corrispondenze nei modelli riabilitativi, per quanto concerne l'approccio logopedico e i problemi di transcodifica lessicale, semantica e numerica.

Quale didattica speciale è possibile prefigurare per l'accesso alla matematica da parte dei ciechi? Nessuna didattica speciale, se quella curricolare è sufficientemente ricca ed è stata applicata con attenzione.

L'educazione del cieco necessita per sua natura di adeguata percezione dello spazio, da promuovere fin dalla primissima infanzia: se il bambino vedente è stimolato dalla curiosità verso l'ambiente a muovere i primi passi e a misurarsi con il mondo circostante, ciò non avviene spontaneamente nel bambino cieco.

Se tale situazione è relativamente semplice e lineare per il bambino cieco congenito, un'attenzione particolare merita la persona che diventa cieca in età successiva: a questo proposito la presenza di verbalismi sono un utile indice per scoprire lacune nella percezione dello spazio.

Per quanto concerne la didattica della matematica, appare ormai evidente che le prassi di insegnamento andrebbero riviste e aggiornate in profondità.

Per tutti gli studenti nelle scuole di ogni ordine e grado, lo studio, così come è attualmente proposto, rischia di produrre i nefasti esiti che le attuali riforme ministeriali cercano di arginare e correggere.

D'altra parte, una didattica maggiormente contestualizzata al vivere quotidiano, che sappia introdurre nello studio della matematica anche gli strumenti e le situazioni della realtà concreta, rappresenta un guadagno anche nei confronti dell'integrazione delle persone diversamente abili, che mai come in questo caso chiedono "normalità", non più verso la diversità, ma verso la finzione avulsa dal reale.

APPENDICI

Elementi di Percettologia Aptica

La Persona Cieca

Per una possibile Bibliografia Ragionata

APPENDICE 1: Percettologia Aptica

Introduzione

La seguente appendice si deve allo studio della dott.sa Elena Pasquinelli, al tempo della stesura dottoranda presso l'Institut Jean Nicod (EHESS, ENS, CNRS), Parigi, Francia, in co-tutela presso il Dipartimento di Filosofia dell'Università degli Studi di Pisa, Italia.

La dott.sa Pasquinelli ha il merito raro di aver messo a disposizione in rete¹ questo suo preziosissimo contributo: dopo anni di ricerca individuale e per il dottorato si stenterebbe a trovare una trattazione così completa.

Alcune “perle” della rete globale subiscono spesso l'ingiuria del tempo, e non è infrequente veder apparire lavori di tale qualità per periodi limitati, per poi vederli sparire definitivamente. Si spera, sedimentando questo pregevole lavoro all'interno della presente trattazione, di darne una vita più lunga, facendo in modo che altri ne apprezzino la qualità e la completezza.

La si riporta integralmente anche per altri motivi: anzitutto perché la conclusione cui si è giunti nella presente ricerca è in consonanza con l'importanza data alla percettologia aptica. In secondo luogo perché in questo studio si ritrovano le giustificazioni all'insistenza data sugli aspetti esperienziali di psicomotricità neurocognitiva nella quotidianità del cieco.

SEMINARIO GIUGNO: Studi sulla percezione tattile

INTRODUZIONE

Come avviene che percepiamo una realtà esterna?

Questa domanda, sotto formulazioni diverse, costituisce una delle interrogazioni principali della filosofia della conoscenza occidentale, poi, dal XVIII secolo, anche della psicologia sperimentale e della neurofisiologia.

Oggi ancora, filosofia e scienze della cognizione uniscono le loro modalità di riflessione e le loro competenze per trovare sviluppi produttivi alla questione sulla formazione dei percetti, sul loro statuto epistemico, sulla loro affidabilità, specie in rapporto alla loro appartenenza alla componente più corporea e periferica della conoscenza.

Il problema della percezione pertiene dunque all'epistemologia quanto alle scienze cognitive, e costituisce un nodo cruciale della riflessione sulla conoscenza e il suo ancoraggio nella condizione corporea degli esseri umani.

Se la vista ha costituito una delle metafore preferite dal pensiero occidentale per la conoscenza più squisitamente intellettuale (si pensi solo alla radice visiva dell'ἰδέα, su cui Heidegger fonda la sua analisi dello sviluppo del concetto occidentale di verità), il tatto ha a sua volta impregnato di sé espressioni che spaziano nel regno del mentale e del fisico. Percipere e comprendere fanno riferimento alla mano e alla prensione, imprimere e exprimere alla pressione, ecc. Discutendo le

¹ www.elenapasquinelli.free.fr/links/Percezione%20tattile.doc

espressioni linguistiche tedesche, inglesi, latine, greche, francesi, che fanno riferimento all'attività tattile della mano, David Katz, nel 1925, attribuisce la predominanza della sfera tattile ad una reale primarietà del tatto per rapporto agli altri sensi. Sebbene il senso del tatto non provveda tutte le sottili sfumature disponibili nella visione, né raggiunga il pieno sviluppo della visione nella sensibilità remota, "we must give precedence to touch over all other senses because its perceptions have the most compelling character of reality. Touch plays a far greater role than do the others senses in the development of belief in the reality of external world." (Katz, 1925, 240).

Il tatto gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo di una credenza sul mondo esterno, così come sulla realtà del nostro corpo, di cui ci convinciamo in occasione delle collisioni di questo con l'ambiente. Ciò che è toccato *ha il* vero carattere di realtà, che corregge dalle allucinazioni e dagli inganni della visione. Anche lo sviluppo del bambino testimonia di questo primato del tatto rispetto agli altri sensi, in virtù dell'importanza della bocca e delle sensazioni che lo raggiungono continuamente, nelle cure che riceve, nello stimolo del terreno, dei vestiti, e in virtù dell'estensione di questi stimoli, che coprono tutta la superficie del suo corpo, anche con sensazioni termiche di benessere o malessere. E del resto, appena il bambino impara ad usare le mani, è preso da una vera passione esploratrice. La fisica, infine, con i suoi concetti di impenetrabilità, frizione, resistenza, non avrebbe preso la sua forma attuale, se l'uomo non fosse equipaggiato del senso del tatto. Mentre la fisica del cieco e del sordo non differiscono dalla nostra, quella dell'uomo senza tatto ne sarebbe probabilmente molto distante.

Questa posizione non fa che riaffermare le idee di Locke, Berkeley, Condillac, ma anche Aristotele: il tatto è il senso della realtà, della verifica delle impressioni visive, delle illusioni e delle allucinazioni. E' il corpo, dice ancora Katz, che più di ogni altra cosa ci fa coscienti dei nostri legami con il mondo fisico, là dove il tatto funziona come una sorta di check sulla sua realtà.

In una delle rare raccolte di contributi allo studio del tatto, Heller (Heller, Schiff, 1991) sottolinea quanto la visione abbia sopravanzato il tatto nell'interesse degli studiosi, tanto in psicologia, quanto nel tentativo di affrontare problemi epistemologici, e difende l'interesse costituito dallo studio di quest'ultimo. Lo studio del tatto permette infatti di affrontare, secondo Heller, alcune questioni teoriche:

- equivalenza intersensoriale: il tatto e la vista ci danno le stesse informazioni su oggetti ed eventi? Sono necessarie delle traduzioni per integrare le informazioni? Ricordiamo che in alcune tradizioni psicologiche (come in quella piagetiana) i sensi sono inizialmente separati, e devono imparare a trattare l'informazione in maniera integrata; l'approccio dell'information-processing poi si tende a stressare le differenze tra modalità; altre tradizioni, come la psicologia della Gestalt, propongono l'idea che otteniamo le stesse strutture dalla vista come dal tatto e l'ecologia gibsoniana si basa sull'idea di percetti amodali;
- sviluppo del tatto e degli altri sensi: si sviluppano in maniera differenziata? Un senso prende il sopravvento sugli altri?
- dominanza sensoriale: su quale senso ci appoggiamo di più nella nostra percezione del mondo? In caso di informazioni conflittuali provenienti da sensi diversi, come viene risolta l'incongruenza? A quale senso "crediamo"? Il tatto, senso della realtà, come abbiamo visto, viene spesso chiamato a sciogliere illusioni visive, la vista sembra dominare su certi tipi di informazione, il tatto possedere specificità rispetto ad esempio alla percezione di microstrutture o tessiture;
- ruolo dei recettori del movimento: tatto attivo contro tatto passivo: l'intenzionalità e il ruolo del movimento nella percezione sono questioni centrali nella teoria della percezione, che lo studio del tatto permette di affrontare più direttamente di altri sensi;
- forma delle rappresentazioni mentali: le rappresentazioni tattili sono a se stanti o sono mediate da quelle visive? In che rapporto stanno i due tipi di rappresentazione? Questi problemi sono stati affrontati soprattutto in individui ciechi e ciechi nati. Ad esempio l'esistenza di illusioni geometriche tattili in persone cieche dalla nascita mette in discussione il ruolo della mediazione visiva in questo tipo di illusioni, come suggerito da Gregory. Lo studio delle illusioni geometriche che hanno un'espressione tattile e una visiva è particolarmente interessante a questo scopo;
- processamento seriale o parallelo dell'informazione, complessivo o di parti: come viene elaborata l'informazione tattile spaziale per rapporto ad esempio a quella visiva? Come vengono integrati i singoli campi sensoriali?
- Effetti della lateralizzazione e della specializzazione emisferica: l'emisfero destro, e quindi la mano sinistra, sono più specializzati ad esempio in compiti spaziali? Che effetti sulla lettura braille?

Ci sembra che queste problematiche teoriche possano essere riunite in tre gruppi: il rapporto tra modalità sensoriali, il rapporto tra percezione e movimento, il modo in cui l'informazione sensoriale è elaborata e dà luogo a rappresentazioni del mondo percettivo.

Comprendere il tatto aiuta quindi a rispondere ad alcune questioni alla questione sul modo in cui ci formiamo dei percetti della realtà esterna.

Noi ci concentreremo soprattutto sui primi due gruppi di problematiche: sull'aiuto che lo studio del tatto può dare allo studio della percezione in relazione al movimento e nella relazione tra diverse modalità sensoriali.

Il primo problema che ci porremo in questa interrogazione sul tatto è se esista un tatto in quanto tale, capace di dare luogo a non equivoci "percetti tattili", identificabili per rapporto ad altre modalità sensoriali e individuabili sulla base di strutture o operazione di tipo tattile. Questa prima domanda può essere considerata come ristretta all'ambito del tatto, per cui se si mette in evidenza una mancanza di unità, questa resta specifica del senso del tatto in quanto tale, ne è una particolarità, che lo differenzia meglio da sensi più coerenti come la vista o l'udito.

E' certo vero che il senso del tatto si presenta in realtà, all'analisi fenomenologica come all'esplorazione neurofisiologica, come un'entità composita, più di altri sensi, tale da spaziare dai domini sensoriali della temperatura a quelli del dolore, della pressione, della vibrazione, della identificazione di forma, microstrutture, pesi, misure, ... il caldo, il piacevole, il liscio, il grande, il pesante, il curvo, sono tutte qualità che appartengono al vocabolario tattile.

Ma è anche vero che il tatto, grazie a questa complessità dell'organizzazione interna, può meglio mostrare come modalità tattili diverse collaborino alla formazione di un risultato non solo tattile, ma questa volta complessivo, tale cioè da risultare dall'integrazione di tatto, vista, sensazioni vestibolari, come nella percezione dell'orientamento della testa. L'integrazione di sottomodaltà tattili come la proprio e la esterocezione, le quali danno luogo ad un solo percepito tattile, può essere un modo per meglio mettere in evidenza come diverse modalità si integrino a loro volta.

Esponendo le maggiori classificazioni neurofisiologiche e psicologiche che sono state date del senso del tatto intendo dunque mettere in evidenza una mancanza di unità: è difficile parlare di un senso del tatto come modalità sensoriale coerente e univoca. Questa mancanza di unità può essere letta viceversa come una forte integrazione, a tutti i livelli, dai più alti, (associativi corticali) ai più bassi (recettoriali), tale da mettere in discussione l'utilità di distinzioni troppo nette tra modalità sensoriali, a favore di modelli più centrati su dei comportamenti adattativi, i quali comprendono l'entrata in gioco di modalità diverse in modi specifici.

Ripetiamo che questo tipo di considerazione è fortemente facilitato dallo studio di un senso di per sé composito come il tatto, perché c'è un altro dominio degli studi neuropsicologici e epistemologici in cui il tatto si presta più di altri a suggerire interrelazioni interessanti.

Fin dagli inizi della psicologia della percezione, gli osservatori sostengono il legame intrinseco del tatto col movimento, e queste riflessioni sono sottolineate con forza da Katz nel 1925, da Révész nel 1950, e poi da Gibson negli anni '60.

Vale qui la considerazione esposta prima: possiamo considerare questo legame come specifico del tatto, e di certo se pensiamo all'esplorazione manuale si ha una esemplificazione di integrazione tra percezione e movimento di rara evidenza; ma l'integrazione della percezione e del movimento ha una portata più ampia e il tatto può esserne appunto un significativo esempio.

Nell'esposizione che segue non si darà dunque una risposta a Come avviene che percepiamo una realtà esterna? Ci limiteremo a suggerire alcune considerazioni sui livelli di integrazione appena accennati, del tatto rispetto alle sue sottomodaltà e del tatto col movimento, mostrando come, anche nell'approccio classico delle neuroscienze il tatto metta in discussione modelli esplicativi troppo verticali, gerarchici e separatisti. Esporremo poi le considerazioni che la psicologia della percezione ha elaborato sul tatto, in particolare, ancora, rispetto alla sua complessità e alla sua qualità motoria. Ognuno di questi approcci dà luogo a classificazioni del tatto, che riporteremo.

Fin qui, possiamo dire, si tratta della storia degli studi sul tatto. Riteniamo che delle considerazioni nuove e significative per la comprensione del tatto (e della famigerata domanda sulla percezione della realtà esterna) vengano da un ambito particolare dello studio sul tatto, quello delle illusioni tattili. Anche nello studio sull'illusione la vista la fa da padrone, ma per i due domini di ricerca che abbiamo voluto isolare: rapporto percezione-movimento e rapporto tra modalità sensoriali, le illusioni tattili si dimostrano più indicate.

Lo studio dell'illusione, inoltre, ha dei vantaggi metodologici non indifferenti, permettendo di isolare fenomeni specifici, identificabili, descrivibili, ripetibili. Vedremo quanto la focalizzazione sull'illusione abbia permesso di comprendere meglio alcuni meccanismi generali del tatto. E rifletteremo quindi, da una parte, sul valore metodologico degli errori sistematici, dall'altra su come, quando, perché e se si possa parlare di errore per quel che riguarda l'illusione tattile. Anche la nozione di errore in effetti dipende dal contesto interpretativo dei dati.

PARTE PRIMA: CLASSIFICARE IL TATTO

a) Il punto di vista neurofisiologico:

Gli autori in neurofisiologia o neuroscienze tendono a usare il termine comprensivo di sensazione somatica, somestesia, o di sensi corporei (Kandel-Schwartz), a sottolineare la genericità, la vasta distribuzione e la qualità corporea di quello che viene comunemente chiamato senso del tatto.

La sensazione somatica è stata il soggetto dei primi studi elettrofisiologici sulla sensazione. I padri della psicologia sperimentale, Weber, Fechner, Helmholtz, Wundt, Müller, l'hanno affrontata dal punto di vista della nascente psicofisica sensoriale (cioè delle relazioni tra caratteristiche fisiche dello stimolo e attributi dell'esperienza sensoriale), e della fisiologia delle sensazioni (cioè delle conseguenze neurali dello stimolo, della sua trasduzione da parte dei recettori e processamento a livello cerebrale); oggi questi due approcci si trovano congiunti grazie a nuove tecniche di imaging come PET e fMRI. E' a questi primi approcci che si devono l'identificazione di 4 tipi base di informazione che i sistemi sensoriali veicolano quando stimolati: modalità, localizzazione, intensità, timing.

La modalità identifica una classe generale di stimoli, determinata dal tipo di energia trasmessa dallo stimolo e dai recettori specializzati per rispondere a quella forma di energia, ed è dunque rappresentata dall'insieme dei neuroni connessi ad una specifica classe di recettori, ovvero da un sistema sensoriale. Riconosciamo 4 classi di recettori, sensibili in maniera privilegiata a energia meccanica (meccanocettori: misurano la deformazione fisica del tessuto in cui risiedono), chimica (chemocettori), termica (termocettori) o elettromagnetica (fotocettori delle retine), ma identifichiamo tradizionalmente 5-6 sistemi sensoriali: somatosensorio, visivo, uditivo, vestibolare, olfattorio, gustatorio. Queste modalità maggiori comprendono

in realtà sottomodali in relazione alla varietà di recettori specializzati che contengono e che rispondono ad un range limitato di energie dello stimolo.

Il sistema somatosensoriale in particolare, evidenzia la presenza di un complesso di sottomodali, con recettori, vie ascendenti e proiezioni cerebrali specifiche. Si parla quindi di:

- tatto discriminativo, che riguarda dimensioni, forma, microstruttura, movimento rispetto alla pelle;
- propriocezione, che riguarda il senso della posizione statica e il senso del movimento delle membra;
- nocicezione, che ha a che fare con la segnalazione di danni ai tessuti o irritazione chimica;
- sensazione di temperatura, che risponde al caldo e al freddo.

Si distinguono inoltre due classi della sensazione somatica:

- sensazione protopatica: coinvolge temperatura e dolore, tipica di fibre con terminazioni libere;
- sensazione epicritica: include aspetti fini del tatto, mediati da recettori incapsulati, quali il riconoscimento del contatto leggero e la localizzazione dello stimolo (topognosi), la vibrazione, la discriminazione di microstrutture e punti ravvicinati, la stereognosi, in quanto riconoscimento di oggetti tridimensionali in seguito a manipolazione.

Nel suo complesso, il sistema somatosensoriale appare dunque votato ad attività diverse: identificazione di forma, struttura, dimensione, localizzazione di oggetti, controllo delle forze esterne e interne che agiscono sul corpo, detezione di situazioni nocive.

Due sottosistemi si evidenziano in particolare, in relazione al tipo dei recettori, alle funzioni svolte, al grado di protopaticità o epicriticità, ma soprattutto alla morfologia delle vie su cui si indirizzano le rispettive fibre ascendenti che originano dai gangli spinali, dove si trova il neurone del primo ordine. Indipendentemente dalla localizzazione all'interno di un organo specifico (pelle, muscoli, tendini, articolazioni), i meccanocettori del tatto discriminativo esterocettivo e quelli della propriocezione si trovano uniti dal fatto di risalire verso le aree corticali attraverso la via detta delle colonne dorsali posteriori e lemniscali mediana. Le informazioni nocicettive e termiche risalgono, anch'esse unitamente, attraverso la via anterolaterale e spinotalamica, ed attraverso altre vie extralemniscali. Per quel che riguarda il livello di entrata nel midollo, le fibre nocicettive afferenti terminano prevalentemente nelle corna dorsali del midollo spinale, nelle lamine I e II (zone superficiali delle corna dorsali); molti dei neuroni della lamina I rispondono solo a stimoli nocicettivi e proiettano centralmente (nociceptive-specific neurons); altri, come nella lamina V, rispondono a stimoli meccanici anche non nocicettivi (wide-dynamic-range neurons); la lamina II è composta quasi solo da interneuroni inibitori e eccitatori; le lamine II e IV da neuroni che rispondono a stimoli non nocicettivi; la lamina VI riceve inputs da muscoli e articolazioni, e risponde al movimento non nocicettivo delle articolazioni; le lamine VII e VIII rispondono a patterns complessi di stimoli nocicettivi, in quanto i neuroni presenti sono polisinaptici e rispondono a stimoli dei due emilati del corpo.

Vie lemniscali (caratterizzate da rappresentazione somatotopica dello stimolo):

- Via delle colonne dorsali e del lenisco mediale: le fibre assonali a provenienza dal neurone del I ordine presente nel ganglio spinale, entrano ipsilateralmente nelle corna dorsali del midollo dalle radici dorsali; alcune si biforcano, all'entrata nel midollo spinale, in un ramo discendente, il quale dà luogo eventualmente a sinapsi con motoneuroni spinali, originando riflessi segmentari; il ramo ascendente prosegue diviso in due: il fascicolo gracile o di Goll, che raccoglie le fibre a provenienza dai meccanocettori della parte inferiore del corpo, a posizione più mediana, termina, nel bulbo in una sinapsi col neurone del II ordine, il quale si trova nel nucleo gracile, mentre il fascicolo cuneiforme o di Burdach, termina allo stesso livello nel nucleo cuneiforme. Fino a questo livello si è dunque mantenuta una rappresentazione topologica della sensibilità somatica del corpo, diviso tra tronco, membra superiori e collo da una parte e arti inferiori e tronco inferiore dall'altra. Ancora nella regione inferiore del bulbo, i due fasci incrociano la linea mediana e compiono una torsione a 90°, di modo che ogni parte del corpo sia rappresentata controlateralmente, la parte superiore del corpo più medialmente e quella inferiore più lateralmente: il grosso fascicolo che si forma è il lenisco mediano. La terza stazione avviene nel talamo, nel nucleo ventro-postero-laterale (VPL), dove le fibre del nucleo mediano fanno sinapsi coi neuroni del III ordine (il nucleo ventro-postero-mediale riceve le fibre del lenisco trigeminale, che innerva la faccia). Nel nucleo VP del talamo troviamo dunque rappresentata per la prima volta tutta la sensibilità periferica, ancora organizzata somatotopicamente. Il talamo proietta alla corteccia somestesica, inviando le sue fibre verso lo strato IV delle aree 3a, 3b, e qualche fibra anche verso le zone 1 e 2 di Brodmann.
- Via neo-spino-talamica: veicola la sensibilità dolorosa epicritica e termica; comprende assoni di neuroni nocicettivi e di neuroni che rispondono a stimoli non nocicettivi, i quali originano nelle lamine I e V-VII. Il corpo cellulare del neurone di secondo ordine è contenuto nel corno dorsale, ed emette un assone che incrocia la linea mediana ed esce dalla sostanza grigia per penetrare nel fascicolo antero-laterale o di Dejerine, nel quale si dirige rostralmente fino al tronco dell'encefalo, dove si riunisce al lenisco mediale. Termina in VPL del talamo. Da qui il terzo neurone raggiunge le aree corticali SI e SII;
- Via cervico-talamica: neuroni dei nuclei cervicali laterali le cui fibre incrociano per la maggior parte la linea mediana e attraversano il lenisco mediale per terminare nei nuclei VPL e postero-mediali del talamo; alcuni neuroni di questi nuclei salgono dalla via delle colonne dorsali.

Vie extralemniscali (no rappresentazione somatotopica dello stimolo):

- Via paleo-spino-talamica: rispetto alla neo-spino-talamica, il neurone di secondo ordine è situato più centralmente nella sostanza grigia; entra nel fascio di Dejerine, e sale in direzione del talamo senza percorrere il lenisco mediale; può terminare in diversi nuclei del talamo, detti nuclei aspecifici del talamo; da qui i neuroni

di terzo ordine raggiungono aree corticali non specifiche. Sembra che questa via, più arcaica in senso filogenetico della precedente, veicoli la sensibilità dolorifica, ma anche tattile protopatica;

- Via spino-reticolo-talamica: sale nel quadrante anterolaterale del midollo, la maggior parte degli assoni non incrocia la linea mediana, al livello del tronco dell'encefalo il neurone di secondo ordine termina nella formazione reticolare e nel talamo.
- Via spino-mesencefalica: sale anch'essa nel quadrante anterolaterale del midollo fino alla sostanza reticolare mesencefalica, e poi al nucleo parabrachiale, via tratto spino-parabrachiale, il quale proietta all'amigdala (sistema limbico);
- Via spino-ipotalamica: proietta ai centri soprastatali del controllo autonomico.

Al livello delle vie ascendenti abbiamo dunque una prima forma di organizzazione che tratta separatamente due grandi tipologie di stimolo somatico, ignorando la distinzione tra meccanocettori propriocettivi e esteroceettivi, così come tra meccanocettori di tipo diverso presenti in varia misura nella pelle, e che convoglia tutte queste informazioni verso delle aree specifiche della corteccia cerebrale somestesica. Ma già a livello delle vie ascendenti questa organizzazione mostra di essere meno netta di quanto appaia: è possibile che una parte delle informazioni provenienti dai meccanocettori prenda la strada spinotalamica, visto che lesioni selettive delle colonne dorsali non annullano completamente la sensibilità tattile esteroceettiva e propriocettiva. Non solo: abbiamo visto che alcune fibre prendono una via discendente, dando luogo a circuiti locali riflessi, che intrattengono un tipo diverso di rapporti con il movimento e con il centro. Possiamo dunque affermare che, a tutti i livelli, il sistema somestesico offre "vie di fuga" dalle classificazioni delle sue sottomodaltà, così come ad un suo trattamento unitario isolatamente da altri sistemi, sensoriali e motori.

Per meglio comprendere il gran numero di componenti che vengono integrate nella modalità somatosensoriale, e che ricevono il loro trattamento principalmente nelle aree corticali somestichesche, quando non prendono sinapsi direttamente a livelli inferiori, è il caso di soffermarsi dettagliatamente sulla sua componente recettoriale.

Per quel che riguarda la cosiddetta sensibilità protopatica, termica e dolorifica, troviamo:

- termocettori, suddivisi in recettori per il caldo e recettori per il freddo, i quali scaricano tonicamente a bassa frequenza, e raggiungono picchi a temperature intorno ai 25° per il freddo e 45° per il caldo;
- nocicettori: rispondono direttamente a stimoli nocivi, e indirettamente al rilascio di sostanze chimiche in tessuti danneggiati; sono di tre tipi: meccanici, termici e polimodali; nei visceri sono presenti nocicettori detti "silenti". Tipicamente si tratta di terminazioni nervose libere, di fibre A α e C.

Del tatto propriamente detto sono tenuti per responsabili i meccanocettori della pelle. La loro descrizione permetterà di mettere in evidenza la molteplicità di condizioni che caratterizzano già questa sottomodaltà. I meccanocettori della pelle sono sensibili allo spostamento meccanico della membrana terminale del nervo, per cui rispondono a stimoli vibratorii quanto a stimoli pressori. La precisazione è importante in quanto a lungo si è pensato all'esistenza di recettori separati per questi due tipi di stimolo, fino a che una migliore conoscenza delle condizioni di risposta dei meccanocettori non ha permesso di riunirli in un solo gruppo. In effetti i meccanocettori cutanei della pelle glabra si differenziano per la loro forma, determinata dalle strutture che avvolgono la terminazione nervosa (si suddividono in base a questo criterio in recettori incapsulati e non incapsulati, l'esistenza e la struttura della capsula che avvolge la terminazione nervosa essendo di grande importanza in quanto modifica la risposta dinamica alla stimolazione, come la capacità a rispondere a stimoli più lontani), per la loro localizzazione negli strati profondi o superficiali della pelle, per la velocità di conduzione delle fibre che li innervano (si distinguono tre classi di fibre: A, B, C. Le fibre A sono le più grosse e rapide, generalmente lo sono le fibre dei meccanocettori; il gruppo A si divide poi in A α , le più veloci, A β , A δ , le più lente; infine le fibre delle afferenze muscolari comportano quattro gruppi supplementari: I, II, III, IV, dal più rapido al più lento, suddivise a loro volta in sottogruppi designati da lettere minuscole) per il tipo di adattamento (che determina la loro sensibilità specifica a indentazioni rapide, a pressioni protratte, a cambiamenti veloci) e la soglia di attivazione:

- corpuscoli di Meissner: collocati nello strato superficiale della pelle, ne avvertono le depressioni minime; il loro adattamento rapido permette di misurare gli aspetti dinamici dello stimolo (cambiamenti di velocità), in particolare le vibrazioni a bassa frequenza (come nello scivolamento di oggetti rispetto alla pelle); rappresentano il 40% circa dell'innervazione della pelle della mano;
- dischi di Merkel: localizzati negli strati dell'epidermide, in particolare di dita (rappresentano circa il 25% dell'innervazione della mano), labbra e genitali esterni, hanno fibre ad adattamento lento, quindi sensibili a stimoli statici: discriminazione di forme, bordi, microstrutture, la stimolazione diretta produce una sensazione di pressione leggera;
- corpuscoli di Pacini: presenti nei tessuti sottocutanei, ma dei corpuscoli simili sono stati identificati anche nelle membrane interossee e nel mesentero (rappresentano il 10-15% dell'innervazione della mano); l'adattamento rapido, associato alla capsula a cipolla che funziona come filtro, permettono l'attivazione solo a perturbazioni transitorie ad alta frequenza, anche distanti, come nel caso di microstrutture fini e stimoli mobili; la stimolazione diretta provoca una sensazione vibratoria;
- terminazioni di Ruffini: situati nella profondità della pelle (20% dell'innervazione della mano), ma di simili anche nei tendini e nei legamenti; hanno un adattamento lento e sono sensibili allo stiramento della pelle in quanto il loro asse è posto in parallelo alle linee di stiramento; la loro soglia di stimolazione è bassa e quindi la sensibilità elevata, anche se la stimolazione diretta non produce sensazioni particolari; sembrano avere un ruolo nella percezione delle forme;
- nella pelle irsuta si incontrano altri tipi di recettori, tipicamente terminazioni libere che si trovano nel follicolo pilifero: ne esistono tre tipi, che rispondono in modo diverso allo spostamento del pelo.

La velocità cui questi recettori inviano le loro informazioni dipende dalle fibre da cui sono innervati, le quali possono essere più o meno rapide nella loro conducibilità a seconda del diametro e della presenza di mielinizzazione.

In linea generale possiamo dire che i recettori superficiali (Merkel e Meissner) risolvono differenze spaziali fini, come quelle legate alla microstruttura di un oggetto, mentre quelli profondi sono coinvolti in discriminazioni più grossolane, come quelle legate alle proprietà globali dell'oggetto, in quanto hanno campi recettivi più piccoli (anche se la discriminazione spaziale dipende molto anche dalla densità di recettori presenti); che i recettori ad adattamento rapido, come Pacini e Meissner, segnalano la vibrazione, i cambiamenti nella posizione e velocità dello stimolo, mentre i recettori ad adattamento lento come Merkel e Ruffini, segnalano piuttosto pressione e forma. Uno stimolo complesso però non attiva quasi mai un singolo recettore, ma diverse combinazioni di meccanocettori che agiscono sinergicamente. Senza di ciò sarebbe impossibile differenziare informazioni riguardanti la forma o la pressione in recettori ad adattamento lento solo sulla base della frequenza di scarica: un recettore in effetti ha libertà espressive molto limitate, dovendo esprimere il suo stato grazie esclusivamente a potenziali di recettore, che si trasformano superata una certa soglia in potenziali d'azione a forza costante, i quali agiscono sulla base della legge del tutto o nulla, con frequenze di scarica diverse; è dunque l'inizio e la fine della sua attività, la frequenza di scarica, in relazione con la scarica di altri recettori analoghi o diversi, molti o pochi, a costituire il primo livello di codificazione del segnale elettrico.

Se continuiamo a seguire la classificazione neurofisiologica tradizionale, dobbiamo passare alla sottomodaltà della propriocezione, ancora caratterizzata dalla presenza di meccanocettori, localizzati questa volta a livello più profondo. In realtà, abbiamo visto che anche i cosiddetti meccanocettori cutanei possono trovarsi a livello interosseo, presso il mesentere, nei tendini e nei legamenti. La loro funzione a questo livello è discussa, ma tende a rompere l'equilibrio di divisioni troppo nette tra sensibilità diretta verso l'esterno e sensibilità dell'interno del corpo.

La propriocezione riceve solitamente una scarsa attenzione nei capitoli dedicati alla sensibilità somatica, la quale viene identificata piuttosto con la sensibilità tattile, eventualmente anche termica, separando il dolore in capitoli a parte, data la sua importanza ecologica per la sopravvivenza. La propriocezione riceve l'attenzione dovuta, ma in quanto componente essenziale del controllo del movimento, principalmente riflesso, e attraverso questo, volontario. Un esempio di questo ruolo è costituito dalle neuropatie sensoriali del braccio: in assenza di interessamento dei nervi motori, i pazienti che ne sono colpiti presentano movimenti anomali di reaching e difficoltà a posizionare l'arto.

Nella visione tradizionale, la propriocezione si divide in due branche funzionali: senso della posizione e cinestesi, o senso del movimento; la prima sarebbe in causa nella percezione della condizione statica delle membra del corpo, la seconda nella variazione relativa di questa condizione, quindi nel movimento. Una divisione più importante e ancora meno netta, viene condotta tra una forma inconscia di propriocezione, e una forma cosciente, la quale tende a confondersi con lo schema corporeo o immagine corporea. E' questo uno degli ambiti di maggiore ambiguità della neurofisiologia. Nessuno nega ai diversi tipi di meccanocettori profondi un ruolo nel controllo della posizione o del movimento, sebbene i pesi relativi non trovino posizioni omogenee; più difficile capire invece se tutti questi recettori arrivano alla coscienza, dando luogo a dei percetti dello stato cinestesico e posturale del corpo, quindi a delle rappresentazioni di questo stato che entrino a far parte della coscienza. L'approccio tradizionale tende ad esempio a considerare le sensazioni che dipendono dall'attività dei fusi neuromuscolari, come puramente inconse, ma alcuni autori hanno riscontrato non solo la presenza di proiezioni corticali di questi recettori, ma anche la consistenza di sensazioni coscienti di posizione e movimento un volta messi a rispo gli altri recettori, articolari e tendinei. Questo approccio alternativo alla sensibilità propriocettiva, apparentemente una correzione ininfluente nel panorama della neurofisiologia del movimento, ha effetti importanti sulla percezione degli oggetti del mondo esterno, in relazione alla propriocezione e all'azione.

Del resto, anche dell'approccio tradizionale, si riconosce che i cosiddetti recettori propriocettivi, misurando ad esempio la posizione delle dita e il loro movimento intorno ad un oggetto, contribuiscono alla percezione di questo, quindi alla esterocezione. Ad esempio, la forma di un oggetto non è segnalata solo dai dischi di Merkel della pelle, sensibili alla curvatura della superficie, o dai corpuscoli di Meissner, che segnalano quando la curvatura cambia improvvisamente, ma anche dalle informazioni posturali provviste dai recettori dei muscoli e delle articolazioni della mano.

Prima di affrontare questo ruolo esterocezione dei propriocettori, vediamo in dettaglio il funzionamento di tre tipi di recettori, i quali, nella definizione più semplice, forniscono informazioni sulle forze meccaniche che hanno origine nel corpo:

- recettori delle capsule articolari: sono meccanocettori ad adattamento rapido; raccolgono informazioni sulla posizione delle membra e il movimento delle articolazioni; la loro attività è considerata accedendo alla coscienza;
- organi tendinei del Golgi: meccanocettori incapsulati innervati da fibre del gruppo Ib, si ripartiscono tra le fibre collagene che si trovano alla giunzione tra tendine e muscolo; sono connessi in serie alle fibre muscolari scheletriche: l'allungamento del tendine stira le fibre collagene, le quali comprimono le terminazioni libere dell'organo, deformandolo. Gli organi tendinei sono dunque sensibili ai cambiamenti di tensione, e rispondono prontamente alle contrazioni muscolari durante i movimenti (esistono registrazioni della loro attività durante movimento volontario delle dita nell'uomo e durante il passo nel gatto). Sembrano misurare direttamente la forza in un muscolo contratto.
- terminazioni sensitive dei fusi neuromuscolari. I fusi neuromuscolari sono recettori fusiformi inseriti nella parte carnosa del muscolo, in parallelo con le fibre muscolari extrafusali, di modo che ne segnalano i cambiamenti in lunghezza, specie per quel che riguarda lo stiramento del muscolo. Visto che i cambiamenti nella lunghezza dei muscoli si associano a cambiamenti nella posizione articolare, i fusi possono essere usati dal sistema nervoso centrale per sentire le posizioni relative dei segmenti del corpo. Ogni fuso ha tre componenti: delle fibre intrafusali, delle terminazioni sensoriali e delle terminazioni motorie. Le fibre intrafusali hanno la regione centrale non contrattile, mentre quella polare è viscosa e contrattile, e sono di due tipi, a sacco (2 o 3 per ogni fuso), a loro volta divise in statiche e dinamiche, e a catena nucleare (circa 5), tutte statiche. Le terminazioni sensoriali sono anch'esse di due tipi: 1 terminazione primaria o a spirale, di fibre del gruppo Ia, che si avvolge intorno alla regione centrale di tutte le fibre, e più terminazioni secondarie, di fibre del gruppo II, localizzate

nella regione adiacente al centro delle fibre a catena e delle fibre a sacco statiche. Infine, le fibre motorie fanno parte del gruppo γ a piccolo diametro, innervano le regioni polari contrattili delle fibre fusali e si dividono in statiche, dirette alle fibre a sacco statiche e a catena, e dinamiche, per le fibre a sacco dinamiche. Questa composita morfologia indica in qualche modo la complessità dell'azione di questi recettori, i quali cambiano di lunghezza al modificarsi della lunghezza del muscolo, segnalandone con un aumento di attività lo stiramento.

Da ricordare, che anche i dischi di Merkel e i corpuscoli di Ruffini, contribuiscono al senso della posizione e del movimento segnalando lo stiramento della pelle.

La pelle partecipa alla propriocezione, così come i meccanocettori profondi partecipano alla esterocezione. Al momento di analizzare la formazione dei percetti di oggetti, specie se esplorati attivamente, dovremo tenere conto che non si limitano ad entrare in gioco i cosiddetti recettori del tatto, ma anche quelli della cinestesi. E' in particolare al livello dell'esplorazione tattile attiva che si mettono in gioco i diversi tipi di recettori, da quelli per la temperatura, ai meccanocettori della pelle, a quelli della propriocezione, oltre a livelli motori diversi, dal centrale al periferico, con strutture di controllo che seguono un percorso ascendente e discendente. Questo implica che anche il processamento centrale di stimoli sensoriali dovrà essere guardato da un altro punto di vista, e tenere conto del ruolo di interazioni tra modalità sensoriali diverse, fin dai livelli più bassi della percezione, e di queste col movimento. Esempio, per questo intreccio di relazioni, l'attività complessiva dei fusi neuromuscolari, il loro ruolo nella riflessività spinale e nel controllo volontario del movimento, che permette di vedere questo gioco tra più parti in atto e di descrivere alcuni circuiti rappresentativi dell'interazione tra modalità sensoriali diverse, sensi e movimento, e infine livelli diversi di cognizione.

Per questo motivo vi ritorneremo in fine di argomento, dopo aver illustrato la terza modalità del processamento degli stimoli somestesici, quella centrale, che faremo cominciare dall'arrivo delle fibre dei neuroni del terzo ordine allo strato IV della corteccia somestesica.

Nell'approccio delle neuroscienze tradizionali, la stereognosi è un processo di riconoscimento dell'oggetto posto nelle mani attraverso il tatto; il centro della questione è costituito dal modo in cui si passa dalla percezione di forma, microstruttura, massa, temperatura al percetto di un oggetto coerente. Al livello periferico dei recettori, specie quando le mani e le dita si muovono intorno all'oggetto, spostando il contatto da un recettore ad un altro, ma sempre per piccole porzioni dell'oggetto, l'oggetto in questione viene infatti decostruito in molte aree simultaneamente, successivamente e diversamente stimulate, aree popolate da recettori differenti, con peculiari patterns di scarica.

"It is the job of the central nervous system to construct a coherent image of an object from fragmented information conveyed in multiple pathways." (Kandel-Schwartz, 452)

Sono i circuiti neurali delle vie sensitive ascendenti e delle aree somatosensoriali della corteccia ad operare principalmente, nella visione tradizionale, questo lavoro di integrazione a posteriori su un materiale "caotico" per formare un percetto.

- La parte di corteccia che riceve le proiezioni delle vie delle colonne dorsali e del lemnisco mediale (quindi dei meccanocettori, probabilmente non tutti, e non dei recettori di sensibilità termica e dolorifica) è la corteccia somatosensoriale primaria (S-I), nel giro postcentrale del lobo parietale, la quale comprende 4 aree citoarchitettoniche: 3a, 3b, 1 e 2 di Brodmann. La maggior parte degli assoni a provenienza talamica terminano in 3a e 3b, ma alcuni neuroni mandano le loro proiezioni direttamente a 1 e 2. Funzionalmente, le 4 aree primarie della sensibilità, si differenziano in modo che 3b e 1 ricevono informazioni dai recettori della pelle, mentre 3a e 2 dai recettori di muscoli e articolazioni. A questo livello, le informazioni dei meccanocettori superficiali e profondi sarebbero dunque separate. Ma, in ogni caso, le 4 aree sono fortemente interconnesse.
- Ognuna delle 4 aree di S-I innerva l'area somatosensoriale secondaria (S-II), localizzata nella parte superiore del solco laterale. S-II non ha influenza su S-I, ma innerva la corteccia insulare, la quale a sua volta proietta a zone del lobo temporale ritenute importanti per la memoria tattile.
- S-I invia input anche alla corteccia parietale posteriore, nelle aree di Brodmann 5 e 7, che ha funzioni associative. Non solamente vi viene riunita e integrata l'informazione proveniente dalle due mani, attraverso il tramite del corpo calloso, ma avviene un'integrazione tra informazioni sensoriali diverse: quelle provenienti dai meccanocettori, tattili della pelle e propriocettivi viene integrata (dopo esser stata separata in S-I) nell'area 5; nell'area 7 questa doppia informazione viene a sua volta integrata anche con gli input visivi, di modo che si ottiene un'integrazione tra informazione stereognosica e visiva. Infine, il collegamento col motorio viene fornito da proiezioni che dalla corteccia parietale posteriore raggiungono le aree motorie del lobo frontale, rappresentando un ruolo importante nella guida sensoriale e nell'iniziazione del movimento.
- E' da sottolineare che da S-I, le informazioni vengono inviate anche verso livelli inferiori, subcorticali: dallo strato VI, partono proiezioni verso il talamo (quelle a provenienza dal talamo arrivando nello strato IV), dallo strato V verso altre porzioni sottocorticali, e solo da II e III verso altre aree corticali.

Come i meccanocettori, i neuroni corticali possiedono diverse caratteristiche, come il modo di segnalazione (neuroni ad adattamento lento o veloce), e la dimensione del campo recettivo (la cui forma, grandezza, localizzazione non è stabile, come sottolineeremo meglio in seguito, neanche in età adulta, in virtù di una plasticità che si rivela essere una delle principali caratteristiche per comprendere il sistema nervoso), a seconda delle connessioni convergenti e divergenti dei nuclei di relay (nuclei delle colonne dorsali e del talamo).

Nonostante la convergenza di diverse fibre sensitive su un solo neurone corticale, l'organizzazione somatotopica è mantenuta a livello centrale: in ognuna delle 4 aree di S-I è riconoscibile una struttura, detta homunculus, che rappresenta la localizzazione e la densità di innervazione dei recettori sul corpo (con una rappresentazione sovradimensionata dunque per mano, piede e faccia). La corteccia è infatti organizzata in colonne e ogni colonna (divisa in 6 strati) riceve input da una stessa area locale, ad esempio della pelle, e risponde ad 1 sola classe di recettori, sebbene poi i campi recettivi di una colonna

non siano perfettamente congruenti, questi condividono un centro comune, di modo che 1 colonna preserva le proprietà di localizzazione e modalità dello stimolo. Così:

- in 3a arrivano informazioni dai propriocettori di allungamento muscolare;
- in 3b i meccanocettori cutanei, divisi in 2 set di colonne ad adattamento lento o veloce;
- in 1 i recettori cutanei ad adattamento veloce;
- mentre in 2 si riscontra una segregazione per modalità meno pronunciata.

Per rendere più netto lo stimolo vengono impiegati circuiti inibitori che si trovano a tutti i livelli: nelle colonne dorsali, nel talamo, nella corteccia, e che tendono a limitare la diffusione spaziale dell'eccitazione lungo vie divergenti. E' grazie a questi circuiti che il segnale trasmesso alla corteccia in 3b riproduce fedelmente la forma dello stimolo, ad esempio rendendo riconoscibili delle lettere a livello corticale; a stadi successivi le risposte sono più astratte, l'area 2 ad esempio segnala strutture comuni, ovvero delle regolarità, come la presenza di linee verticali o orizzontali, la direzione del movimento dell'oggetto rispetto alla pelle, ecc. L'area 2 permette dunque al cervello di trovare patterns comuni a stimoli di una particolare classe, indipendentemente dalla modalità sensoriale da cui provengono, visto che certi suoi neuroni rispondono tanto al tatto che al senso di posizione. Nelle aree 5 e 7 le risposte sono ancora più complesse, in quanto, come abbiamo visto, integrano diverse modalità sensoriali: alcuni neuroni dell'area 7 ad esempio, integrando stimoli visivi e tattili che si sovrappongono spazialmente, sono guide importanti per la coordinazione occhio-mano in quanto monitorano i movimenti della mano a guida visiva; altri neuroni dell'area 5 entrano selettivamente e vigorosamente in azione durante certi tipi di azione, in quanto ricevono segnali da gruppi di muscoli, articolazioni e pelle. Poiché le aree associative hanno un ruolo chiave nel controllo del movimento, la loro organizzazione è funzionale piuttosto che somatotopica. Per quel che riguarda poi la memoria di sensazioni tattili, il fatto che le proiezioni verso le aree temporali provengano da S-II, implica che si tratti di informazioni complesse, ad esempio modificate da impressioni visive e dal contesto comportamentale e motivazionale.

Per riassumere, il percorso integrativo che conduce alla formazione di un percetto coerente, nell'approccio tradizionale avviene tutto a livello corticale (gli stimoli complessi non sorgono dal talamo), e comprende:

- allargamento progressivo della dimensione dei campi recettivi ad ogni livello del processamento, di modo che il neurone corticale è sensibile all'intero oggetto e non solo ad una sua parte;
- cambiamento del profilo dell'attività della popolazione attiva di neuroni grazie all'attività dei circuiti inibitori;
- risposta a input più complessi nei livelli più alti del processamento;
- convergenza delle informazioni a provenienza da sottomodaltà differenti in neuroni individuali delle aree associative.

In questo modello è evidente l'interazione decisiva tra informazioni che provengono da modalità diverse come la vista e la somestesia, e di queste con il comportamento motorio, che ne viene influenzato, per arrivare ad un percetto coerente.

Inoltre, a vari livelli (dei recettori, delle vie ascendenti, delle aree corticali), le distinzioni via via operate tra sottomodaltà somestesiche, si ricongiungono, si confondono, si ridefiniscono grazie ad operazioni di integrazione, di connessione, convergenza e divergenza. All'interno del modello stesso, dunque, la classificazione delle sottomodaltà appare non troppo stabile, e si nota il bisogno di sviluppi della teoria che rendano meglio conto di questa rete di interazioni intermodali, intramodali e sensorio-motorie.

E' necessario trovare modelli convincenti che spieghino come stati eccitatori di parti diverse del cervello possono interagire tra di loro, come nel caso di vista e tatto.

All'interno della modalità tattile, il tatto cosiddetto discriminativo e la propriocezione, sembrano mescolare più volte le loro carte, e la partecipazione del senso della posizione e del movimento alla fabbricazione di percetti su oggetti esterni mettono in causa in modo maggiore il ruolo del movimento, della sensibilità che è legata alla sua programmazione e alla sua esecuzione.

Il funzionamento dei fusi neuromuscolari rappresenta un esempio efficace di queste dinamiche. Innanzitutto, questi organi sensoriali inviano costantemente impulsi a bassa frequenza, che segnalano lo stato di allungamento del muscolo. La loro attività tonica costituisce dunque una fonte di informazione propriocettiva continua. Allo stiramento del muscolo, passivo o attivo, la frequenza di scarica aumenta, ed entra in gioco un riflesso sensomotorio spinale, detto riflesso di stiramento o miotatico: l'aumento di attività delle fibre Ia, che entrano nel midollo e prendono direttamente contatto con i motoneuroni α del corno ventrale, conduce ad una scarica di questi ultimi che si oppone allo stiramento e mantiene la lunghezza del muscolo. E' dunque evidente il ruolo di questo riflesso nel mantenimento della postura e del tono muscolare. Gli effetti del riflesso miotatico non si limitano al muscolo che è stato stirato: le fibre Ia prendono contatto anche con i motoneuroni α dei muscoli sinergisti rispetto a quello stirato, e dopo aver fatto una sinapsi con un interneurone spinale inibitore Ia, con i motoneuroni α dei muscoli antagonisti: in questo modo allo stimolo indotto dallo stiramento di un fuso segue una risposta complessa che mette in causa tutti i muscoli che agiscono su di un'articolazione, eccitandone o inibendone la contrazione. Ma la dinamica più interessante è legata all'attività dei motoneuroni γ , i quali innervano le parti contrattili delle fibre del fuso e non hanno nessun effetto diretto sulla contrazione del muscolo. Una funzione evidente dei motoneuroni γ è quella di ristabilire la lunghezza delle fibre fusali in seguito ad una contrazione, in modo da assicurare la responsività e riportarle alla giusta lunghezza, fuori dalla quale la misurazione della lunghezza del muscolo sarebbe impossibile. Comandi motori generati centralmente possono dunque intervenire sull'attività dei motoneuroni γ in modo da cambiarne il livello di scarica. Questo fa aumentare la tensione delle fibre fusali, la cui contrazione aumenta a sua volta la sensibilità delle fibre Ia allo stiramento. E' così che stiramenti più piccoli verranno segnalati in maniera comunque forte, scatenando risposte immediate e massive. I motoneuroni γ diventano una variabile sulla quale il sistema nervoso centrale può agire per controllare la forza risposta riflessa, ma anche la qualità della risposta motoria volontaria. Un continuo aggiustamento dei fusi permette infatti un controllo motorio più fine per attività più complesse: i motoneuroni γ sia statici che dinamici. Non per niente i piccoli muscoli delle dita della mano dell'uomo ospitano un gran numero di fusi.

L'interesse per noi di questo circuito dipende dal fatto che non solo mette in luce la continua interazione del centro con la periferia, e il controllo dall'alto che viene esercitato anche sui riflessi spinali, ma soprattutto che questa complessa regolazione dell'attività motoria avviene per il tramite di organi sensoriali, sintonizzati dal sistema nervoso centrale così da rispondere in modo differenziato a identici stimoli ambientali a seconda di quello che è il piano per l'azione. In altre parole, il piano per l'azione, il tipo di movimento o di postura che dovranno essere raggiunti, condizionano l'attività percettiva del sistema modulandone l'attività di scarica. Avevamo visto in precedenza che l'informazione sensoriale che arriva a livello corticale, viene poi smistata anche verso i centri motori della corteccia centrale, in modo da produrre movimenti guidati percettivamente. Adesso vediamo che esistono di pari percezioni guidate motorialmente, e che questi circuiti di interazione non si limitano alle aree superiori della corteccia, ma coinvolgono circuiti molto bassi, come i riflessi spinali. Il movimento influenza dunque la percezione in maniera più profonda che nel caso dell'orientamento dei recettori: in alcuni casi i due sistemi formano un solo complesso modulato sull'azione.

In base al quadro tracciato fin qui del modello tradizionale della percezione tattile e di alcuni suoi nodi irrisolti, potremmo pensare che la focalizzazione dell'attenzione sul modo in cui funziona la formazione dei percetti, piuttosto che sulla localizzazione delle aree coinvolte, prevalente nel modello tradizionale, potrebbe condurre a rivedere le classificazioni che abbiamo esposto fin qui, a favore di raggruppamenti più dinamici, meno gerarchizzati e modulari, legati a comportamenti adattivi specifici, e in grado di illustrare, con le proprie relazioni interne, il modo in cui un percetto emerge all'incrocio tra sensibilità, motricità e cognizione.

b) Il punto di vista della psicologia:

Se è vero che la psicofisiologia e la fisiologia delle sensazioni hanno mosso i primi passi con lo studio della somestesia, negli studi attuali sulla percezione il tatto rimane comunque trascurato, a favore della vista e dell'udito. Ci sono comunque degli autori che se ne sono occupati in maniera estesa. Per questi autori l'interesse del tatto non risiede tanto, come agli esordi dello studio delle sensazioni, nell'identificazione di soglie di discriminazione di stimoli, prevalentemente cutanei: il tatto interessa in particolar modo perché sembra prestarsi particolarmente bene a investigare il rapporto tra sensazione e movimento, come sostenuto da due dei maggiori rappresentanti della psicologia della percezione tattile: Katz e Gibson (e i seguaci dell'approccio ecologico di quest'ultimo).

Di questi due approcci alla psicologia del tatto, e delle classificazioni che ne emergono, tre elementi ci sembrano particolarmente significativi:

- l'interesse per fenomeni complessi della percezione tattile, e per l'integrazione tra sistemi sensoriali più o meno separati;
- l'insistenza sull'importanza del movimento nel tatto, e quindi l'attenzione spostata su forme di tatto più dinamiche, come l'esplorazione manuale di oggetti;
- il fatto che nel quadro della percezione tattile, aprire un discorso sul ruolo del movimento nella sensazione, conduce a mettere in discussione le divisioni troppo nette tra modalità sensoriali diverse. Tatto propriamente detto e cinestesi, che risponde al movimento degli organi sensoriali, sono infatti difficilmente separabili, al punto da mettere in discussione una vera e propria divisione. La loro integrazione non arriva solo ad "alto livello", come apparente dalle descrizioni neurofisiologiche tradizionali, ma avviene fin dalla prima strutturazione del fenomeno percettivo.

1) Per quel che riguarda il primo punto, Katz sostiene esplicitamente che gli elementi sensoriali separati sono un artefatto della psicologia ("approccio atomistico" alla percezione), la quale ha trascurato lo studio dei fenomeni più complessi e olistici. I fenomeni complessi sono però la sola componente naturale della coscienza, anche per quel che riguarda i cosiddetti "sensi della pelle": "in the living organism (whose expressions, after all, are what we wish to understand), large coalitions of sensory elements always work together." (34) Di conseguenza, la fisiologia delle sensazioni opera, artificialmente, una prima differenziazione, distinguendo gli elementi degli organi sensori, ed è obbligata, per rendere conto dei fenomeni complessi, a far seguire un'operazione di integrazione: i fenomeni complessi risultano così essere interpretati come "cognitive products of logical operations." (33) Katz invita, all'opposto, a vedere la percezione tattile come qualcosa di immediatamente complesso e integrato, che non richiede a questo scopo l'intervento di operazioni cognitive successive. La percezione di proprietà come l'umidità o la secchezza di un materiale non è il frutto di inferenze, e neppure della mediazione della vista, dato che i ciechi nati posseggono le stesse impressioni. Nell'ottica di Katz non si tratta di individuare le attività dei diversi recettori e di conseguenza di moltiplicare le sensazioni tattili, quanto di puntare alla descrizione dei fenomeni tattili: da una materia tattile monotona emerge il polimorfismo del mondo del tatto, che si manifesta in 3 modificazioni o qualità principali: tatto di superficie, tatto d'immersione, tatto del volume; ognuna di queste modificazioni possiede più specificazioni o caratteristiche identificatorie. Ad esempio, per la qualità della superficie, una specificazione sarà quell'esperienza tattile che si riferisce ad una certa costituzione o materiale. La classificazione del senso del tatto proposta è dunque la seguente:

- Tatto di superficie: quando tocchiamo un'area palpabile continua, ininterrotta, localizzata alla superficie, e tale da seguire le curvature dell'oggetto cui appartiene, una struttura tattile bidimensionale si presenta alla nostra coscienza.
- Tatto d'immersione: un fenomeno tattile senza forma o struttura definita, senza orientamento nello spazio, come nel muovere la mano in liquidi.
- Tatto di volume: è la percezione della forma, della distribuzione spaziale di un oggetto, che si ha ad esempio se questo è coperto da uno strato di cotone, o se la mano è coperta da un guanto che dà luogo ad una sorta di pellicola trasparente. E' il caso ad esempio della palpazione medica, sia nel senso che si palpano tessuti profondi, saggianone la forma attraverso altre strutture, sia nel senso dell'uso dei guanti.

Questo tipo di classificazione, diretta alle qualità percepite dal tatto piuttosto che alle strutture della percezione tattile, enfatizza le sue capacità differenziali, quelle cioè rispetto alle quali il tatto non è solo una "vista minore", ma in cui le capacità di riconoscimento tattile sono pari ad altre forme di percezione, o prevalgono addirittura su quelle di riconoscimento visivo, come avviene nella percezione di tessiture o microstrutture.

2) Veniamo al secondo punto, ovvero al ruolo del movimento nel tatto. Uno dei principali responsabili dell'attenzione a questa relazione è J. J. Gibson. La constatazione da cui parte Gibson è che ci sono grandi differenze nel percetto risultante a seconda che la stimolazione sia portata dallo sperimentatore (tatto passivo, essere toccati da un oggetto, anche se in movimento) o dall'osservatore (toccare un oggetto stazionario). Nel primo caso si hanno sensazioni di modificazione della pelle, nel secondo l'attenzione va alle proprietà dell'oggetto.

La differenza tra tatto attivo e passivo è che l'atto di toccare è una ricerca di stimolazione, o meglio "an effort to obtain the kind of stimulation which yields a perception of what is being touched." (p. 478). "Active touch is an exploratory rather than a merely receptive sense." (p. 477). Una concezione attiva della percezione coincide dunque con l'idea che la pelle non sia un mosaico di recettori, ma un organo esploratorio. Il tatto passivo coinvolge solo l'eccitazione dei recettori della pelle. Nel tatto attivo, le variazioni nella stimolazione della pelle sono prodotte da variazioni nell'attività motoria.

L'aspetto più importante del tatto attivo è comunque che questo ha come correlato la percezione di un oggetto, e non delle semplici sensazioni cutanee: la percezione dell'oggetto toccato è unitaria anche se avviene con più dita e quindi con più e separate stimolazioni cutanee, ed è stabile, anche se le dita si muovono e quindi si ha un'impressione di movimento rispetto alla pelle; la pressione delle dita su un oggetto informa piuttosto sulla durezza dell'oggetto, che sull'aumento di intensità della sensazione cutanea; passare le dita su un oggetto, permette di percepire la forma dell'oggetto, e non della deformazione della pelle. Al contrario, nel caso di tatto passivo, due pressioni differenti danno luogo a due sensazioni differenti; la traslocazione dello stimolo sulla pelle dà luogo a una sensazione di movimento; l'aumento della depressione della pelle è riportato come tale; pressioni simultanee vengono percepite. Durante l'attività, piuttosto che nella sensazione passiva, è messo in gioco un sistema recettivo di ordine superiore. Quando un individuo muove attivamente la sua mano per rapporto al suo corpo, e quindi alla gravità e alla superficie di supporto, è in contatto con la terra tanto quanto col suo oggetto. Una covariazione legiforme degli inputs porta con sé un'informazione diversa da quella portata da inputs in isolamento, e conduce a percezioni diverse (l'oggetto esterno, unitario e stabile nel caso di quella attiva). Per questo dividere tatto e cinestesi comporta una confusione sull'importanza della covariazione di questi diversi inputs. La cinestesi non si somma, mescola o fonde, con la sensazione cutanea. Pelle e articolazioni sono entrambe proiettate nella stessa area somestesica della corteccia. Ogni pattern di cambiamento di contatto con la pelle è covariante e concomitante con un cambiamento nella posizione delle ossa: le articolazioni trasportano informazione geometrica, la pelle informazione di contatto, e in certe combinazioni invariante esse trasportano informazioni che specificano l'apparenza delle superfici esterne. La covarianza è un'informazione in sé, poiché l'input neurale con la covarianza è diverso dai due input senza covarianza. Ed è l'invariante tra le due a specificare una particolare apparenza esterna di superfici.

La constatazione sulla capacità "oggettificatrice" del movimento, rispetto alla percezione tattile, non è nuova. Si tratta infatti di una delle affermazioni più insistite di Katz (1925), attraverso la quale Katz specifica la sua idea del tatto come senso della realtà. Poiché siamo partiti chiedendoci come avvenga che ci formiamo dei percetti della realtà esterna, ci soffermeremo un momento sulla bimodalità del tatto secondo Katz, dopo aver esposto il suo pensiero sul ruolo del movimento in questo tipo di sensazione.

Il movimento è indispensabile per il tatto, come la luce lo è per la percezione dei colori: "to study the sense of touch at rest is almost alike wanting to determine the capability of the leg musculature after the leg has been placed in a plaster cast." (78) Il ruolo del movimento è quadruplo:

- da una parte il movimento è un mezzo per intensificare l'azione degli stimoli statici senza cambiare la natura del fenomeno; è noto che il movimento ad esempio si inserisce là dove l'abitudine dei recettori interrompe il flusso di stimoli, a permettere che lo stimolo interessi recettori adiacenti non abituati;
- in secondo luogo il movimento crea chiaramente dei fenomeni tattili (Katz parla a più riprese del movimento come forza creatrice). Questo suo ruolo formativo segue dal fatto che ci sono fenomeni tattili che non sono accessibili con stimoli immobili, ma che esistono solo grazie al movimento relativo della mano rispetto alla superficie. Questo vale per tutte le qualità del tatto di superficie, liscchezza, ruvidezza. Il movimento in questione è però solo un movimento passivo, non soggettivo;
- il tatto attivo è al contrario costituito da movimenti soggettivi, quando ad un certo livello di pressione esercitata, anche le sensazioni del senso muscolare partecipano allo sviluppo delle impressioni, sviluppando così una più grande sensibilità. E' da sottolineare che Katz si trova in difficoltà con la natura composita del senso del tatto e sostiene di includervi la cinestesi per semplicità di esposizione. Le sensazioni cinestetiche, che comprendono le sensazioni del grado di tensione dei muscoli (allora chiamate "senso dello sforzo") e quelle cutanee delle estremità, contribuiscono alla percezione tattile delle forme. Il senso muscolare è coinvolto piuttosto nella valutazione dell'elasticità: non si può immaginare qualcosa di elastico senza pensare al movimento che testa l'elasticità dell'oggetto, come il tapping. Katz sostiene che questo tipo di tatto non è necessario nei giudizi sulle qualità delle superfici, ovvero sulle tessiture, in quanto questi giudizi sono corretti anche se l'oggetto viene mosso contro una mano immobile: sono quindi i recettori della pelle a essere prevalentemente responsabili per queste sensazioni (le sensazioni cinestetiche rimangono sullo sfondo, ma non sono completamente escluse). Ma la considerazione di Katz è più generale, non si limita comunque alla sola percezione dell'elasticità: "Every ongoing tactual activity represents a production, a creation in the true sense of the word. When we touch, we move our sensory area voluntarily, we must move them, as we are constantly reminded, if the tactual properties of the objects are to remain available to us [...] they remain mute until we make them speak." (242) Nel suo esercizio naturale, il senso del tatto è raramente

statico, la mano cerca il suo oggetto, lo sfiora, lo preme. Se è dunque vero che il senso muscolare non è necessario per la percezione delle qualità delle superfici, nondimeno è l'attività muscolare che produce ruvidezza e liscezza, durezza e morbidezza, così come la forma. Toccare, è questa la conclusione di Katz, significa dunque dare vita ad una classe particolare di proprietà fisiche attraverso la nostra attività.

- Eccoci arrivati al quarto effetto del movimento sulla percezione tattile. Katz ricorda che nella divisione tradizionale dei sensi, la vista appartiene a quelli di tipo distale, in cui l'oggetto è percepito per mezzo di un medium, mentre il tatto è un senso prossimale, perché c'è contatto diretto con l'oggetto. In effetti, nel tatto la componente soggettiva è particolarmente importante, anzi, inevitabilmente legata alla seconda componente del tatto, che è quella che si riferisce alle proprietà degli oggetti. Il fenomeno tattile è dunque bipolare: uno stimolo leggero sul dorso della mano può essere avvertito in determinate circostanze prevalentemente come una sensazione soggettiva o come la sensazione dell'oggetto esterno che la causa. Polo oggettivo e polo soggettivo possono alternativamente prevalere, ma la bipolarità è sempre presente. Ci interessa in questo caso la prevalenza del polo oggettivo, in quanto esso domina quando l'organo del tatto è in movimento. Il movimento ha dunque l'effetto di aumentare l'oggettificazione. L'esempio cui ricorre Katz è citato da Weber (Tatsinn und Gemeingefuhel), ma ci è noto anche attraverso la ricca riflessione svolta da M. Merleau-Ponty, a partire dall'opera di E. Husserl. Si tratta del tema del toccare-essere toccati, ovvero della reciprocità del tatto. Il corpo è una struttura particolare dell'universo della percezione in quanto contemporaneamente toccante e toccato, come quando una mano ne sfiora un'altra. Ora, sottolinea Katz, la parte del corpo che sarà avvertita come toccante, ovvero in cui prevarrà il versante soggettivo della sensazione, è quella statica, mentre quella che sarà avvertita come toccata, ovvero che fornirà la sensazione di un oggetto esterno, sarà quella in movimento. Il movimento è produttore di una realtà in quanto esterna.

La specificità dell'ipotesi di Gibson, rispetto alle considerazioni di Katz, è che il ruolo dei movimenti esploratori nel tatto attivo è di isolare le invarianti, e cioè scoprire le componenti esterospecifiche del flusso di informazione. La covarianza riguarda anche altri sistemi sensoriali, come la vista, o i recettori vestibolari, nel costituire il complesso transpercettivo che è la cinestesi.

Non è questo il momento di soffermarci sul concetto di invarianza, e sul suo significato nell'approccio ecologico alla percezione: Riprenderemo questo argomento nell'espone due opposti modelli dell'illusione tattile, uno di tipo top-down, basato sulle proiezioni centrali, e uno bottom-up, che si basa sull'identificazione diretta da parte dei sistemi percettivi di invarianze proprie al mondo degli oggetti. Basti per il momento dire che quello delle invarianze è un modello che colloca le sue spiegazioni sul funzionamento della percezione nel mondo degli oggetti piuttosto che nelle strutture cerebrali dei soggetti.

Vogliamo invece soffermarci ancora un istante sulle conseguenze epistemologiche di queste considerazioni rispetto al ruolo oggettificatore del tatto e dell'importanza rivestita in questa oggettificazione dal movimento. Abbiamo visto nell'introduzione che il tatto può essere visto come il "senso della realtà". Questo ci è sembrato interessante dal momento che siamo partiti dalla domanda: Come avviene che percepiamo una realtà esterna? Ora ci sembra che una considerazione molto importante si sia fatta strada, ovvero che: se il tatto ci permette di accedere ad una realtà esterna, ad un oggetto esterno per rapporto al nostro corpo, questo è in relazione al movimento di questo stesso corpo. Il tatto è un angolo visuale speciale per queste considerazioni, in quanto in esso l'organo percettivo è allo stesso tempo organo del movimento esplorativo. Questo vuol dire che studiare il tatto è particolarmente utile per indagare questa relazione, ma anche che si rischiano facilmente generalizzazioni che non possono essere date per scontate quando si parli degli altri sensi. Bisogna quindi soffermarsi a analizzare il rapporto tra i sensi, per capire se delle considerazioni che valgono all'interno di una certa modalità sono davvero così ristrette e locali. Questo dipende in parte dal fatto se le modalità stesse sono incapsulate e separate tra di loro.

3) Un altro elemento che ci interessa dell'approccio ecologico gibsoniano, in relazione al tema del ruolo decisivo del movimento, è il suo effetto sulla concezione del tatto come miscela di due modi di sensazione: la cinestesi e il tatto vero e proprio, ovvero sul rapporto più generale tra modalità sensoriali. Abbiamo visto che Katz aveva difficoltà a "tenere insieme" tatto e cinestesi, sebbene non potesse separarle a causa del ruolo del senso muscolare nella percezione dell'elasticità. Gibson è esplicito nel sostenere che il carattere esplorativo del tatto impedisce di separare le sensazioni che provengono dal contatto cutaneo con l'oggetto da quelle implicate nella sua manipolazione, nei movimenti della mano, del braccio, eccetera. Questo dipende dal fatto che nel caso del tatto "the equipment for feeling is anatomically the same as the equipment for doing.", (Gibson, 1966; 99), ovvero dalla relazione privilegiata tra sensazione e movimento, combinazione non presente in alcuno degli altri sensi.

In questo modo il discorso sul movimento diventa, nel quadro della percezione tattile, discorso sul rapporto tra le modalità sensoriali. Siamo dunque al terzo punto interessante per noi nell'approccio psicologico alla percezione tattile.

Nel tatto attivo, il flusso di stimolazioni contiene due componenti, una esterospecifica e una propriospecifica, termini che non coincidono con tatto e cinestesi. Non solo il termine "cinestesi" significa cose diverse e può difficilmente essere considerato un senso unitario (storicamente, secondo Gibson, la cinestesi coincide col "senso muscolare", ma in realtà la sensibilità alla posizione del corpo e delle sue membra una rispetto all'altra appartiene piuttosto ai recettori articolari, e si aggiunge a una sensibilità per la posizione e le accelerazioni della testa, a un generale senso dell'equilibrio, alla sensibilità visiva ai cambiamenti nello spazio, alla propiocezione e alla somestesia), ma il tatto attivo è costituito dall'eccitazione concomitante di recettori nelle articolazioni e nei tendini insieme alle modificazioni della pelle. Quando la mano sente un oggetto sono coinvolte tutte le articolazioni delle dita, della mano, del braccio almeno fino alla spalla, e oltre alla sensazione della loro posizione, quella della testa in rapporto alla gravità, del contatto col suolo, degli organi vestibolari. Nel tatto attivo tutte

queste informazioni sono concomitanti e integrate all'interno di una certa gerarchia, ed è presumibile che sia proprio il modo di combinazione di questi stimoli a specificare la differenza tra toccare ed essere toccati, tatto attivo e tatto passivo. Il tatto attivo non è dunque riconducibile all'interno dei criteri che definiscono una singola e semplice modalità sensoriale.

Gibson mette in discussione l'idea che il tatto sia una semplice somma di stimoli cinestesici e tattili: non solo si tratta di un flusso di informazioni concomitanti, integrate e gerarchizzate, ma queste provengono dall'intero sistema muscolo-scheletrico e portano insieme componenti esterocettive e propriocettive. I movimenti esploratori avrebbero proprio il ruolo di isolare, in un solo stimolo complesso, le componenti esterocettive in quanto invarianti rispetto alle altre, e quindi darebbero luogo alla percezione dell'oggetto percepito, piuttosto che delle singole sensazioni cutanee.

Gibson riconosce al tatto uno statuto unitario sulla base del fatto che è un tipo di percezione che fornisce informazioni definite sul mondo esterno, senza essere confondibile con visione, udito, odorato e gusto. La sua unità, così come le differenziazioni interne che lo caratterizzano, sono dunque basate sul concetto di informazione, fondamentale nell'approccio gibsoniano, e non sull'isolamento di sensazioni, vuoi termiche, pressorie, cinestesiche o dolorifiche. Se la sensazione, come viene secondo Gibson studiata dalla psicofisiologia tradizionale, ha a che fare con la codificazione isolata di dati sensoriali semplici, la percezione al contrario è affare di sistemi percettivi complessi, tesi all'estrazione di informazione dall'ambiente. In particolare, i sistemi percettivi sono accordati a determinate informazioni invarianti, come abbiamo visto precedentemente. Benché specifica dunque, l'informazione viene trasportata da input che derivano da una combinazione di recettori non necessariamente legati ad un singolo organo anatomico, ma organizzati in sistema a seconda delle invarianti cui tendono a rispondere. Si noti, per inciso, che Gibson non sembra dare alcuna importanza al processo di trasduzione neurale che avviene dal recettore, lungo le vie ascendenti e a livello cerebrale, di modo che la sua descrizione dei processi percettivi mantiene un carattere qualitativo, incapace peraltro di rendere conto degli effetti delle lesioni degli apparati legati a questa elaborazione.

Non stupisce dunque che la classificazione gibsoniana delle sottomodalità del tatto affermi differenziarsi da quella classica della psicologia delle sensazioni, basata sul concetto di "organi di senso"; nondimeno non viene messa in causa la classificazione neurofisiologica dei recettori termici, dolorifici, tattili cutanei, articolari e muscolari; soltanto, invece che analizzarli separatamente, questi sono riuniti in gruppi o sistemi costituiti di più recettori intramodali, ma anche intermodali (come nel caso dei recettori vestibolari inclusi nel tatto di orientamento). Il sistema che comprende questo insieme di sistemi o gruppi è chiamato sistema percettivo aptico, in un modo che crea una certa confusione col sottosistema del tatto aptico.

"The sensibility of the individual to the world adjacent to his body by the use of his body will here be called the haptic system. The word haptic comes from a Greek term meaning "able to lay hold of." It operates when a man or an animal feels things with his body or its extremities. It is not just the sense of skin pressure. It is not even the sense of pressure plus the sense of kinesthesia. [...] The haptic system, then, is an apparatus by which the individual gets information about both the environment and his body. He feels an object relative to his body and the body relative to an object." (Gibson, 1966, p. 97)"

Questa definizione si accorda piuttosto col sottosistema aptico che col sistema aptico in generale, il quale si differenzia in:

- tatto cutaneo: pelle e tessuti profondi sono stimolati senza bisogno di movimento di muscoli e articolazioni;
- tatto aptico: pelle e tessuti profondi sono stimolati con movimento delle articolazioni; ad esempio, si tratta di afferrare un oggetto, palparlo, premerlo, tastarlo, sfregarlo, per ottenere informazioni sulla sua geometria: forma, dimensioni, margini, protuberanze, curve; sulla sua microstruttura, come la tessitura; sulla sua pesantezza, rigidità, temperatura;
- tatto dinamico: pelle e articolazioni sono stimolati in associazione ad esercizio muscolare; è in atto nella discriminazione del peso, che migliora quando questo viene sollevato; ma anche nella valutazione della rigidità, viscosità, morbidezza, come quando un oggetto è spinto, stirato, schiacciato;
- tatto di orientamento: combinazione di input di recettori vestibolari, recettori articolari e pelle; è in gioco quando, con sorprendente accuratezza, allineiamo l'indice con la direzione della testa;
- tatto di temperatura: la combinazione di stimolazioni della pelle con vasodilatazione e vasocostrizione; è composto da due componenti, una che identifica le proprietà termiche degli oggetti toccati, l'altra che fa parte della termoregolazione corporea e che è in causa nella percezione della temperatura dell'ambiente;
- tatto dolorifico: presumibilmente qualche pattern sconosciuto di eccitazione di terminazioni nervose indica un danno imminente o potenziale; in realtà non può trattarsi solo di queste fibre perché esse partecipano a più tipi di esperienza aptica;
- tatto sociale: il tatto ha una importantissima componente sociale ed emotiva, particolarmente evidente nel caso nelle cure neonatali, della sessualità, della manifestazione degli affetti.

Il termine "aptico" è stato coniato in origine da Revesz (1950), in uno studio sulle performances dei ciechi, col compito di incorporare insieme le informazioni cutanee e quelle cinestetiche, come avviene qui per le due sottomodalità in questione. Esso ha dunque a che fare, in maniera generale, con l'idea che il tatto si concepisce come un rapporto tra oggetti del mondo e corpo, il quale, nella sua interezza, si pone all'esplorazione dell'ambiente, con movimenti adeguati. In questa concezione, la distinzione tradizionale tra cinestesi e tatto pressorio non può sussistere inalterata in quanto nel tatto attivo, inevitabilmente è coinvolto il corpo in movimento e sono rilevanti le informazioni che vengono dai recettori degli organi motori. Cinestesi e tatto propriamente detto sono dunque due modalità sensoriali che interagiscono dinamicamente in determinati compiti percettivi, al punto che questa loro interazione diviene più rilevante della loro distinzione.

Loomis e Lederman (1986) esplicitano questa visione riferendosi alla modalità sensoriale aptica come ad una modalità di "tatto cinestesico", in quanto basato su recettori cutanei collocati sotto la superficie della pelle e recettori cinestetici che si trovano in muscoli, tendini e articolazioni; essa fornisce informazioni su oggetti e superfici in contatto con il percettore, anche se possono essere risentiti calore e vibrazioni provenienti da fonti remote. La percezione aptica fornisce una ricca rappresentazione dell'ambiente prossimo e guida la manipolazione degli oggetti. Loomis e Lederman sottolineano che la loro classificazione delle diverse modalità del tatto, mutuata nei principi da quella di Gibson, non mette in discussione le divisioni della neurofisiologia.

D'ora in avanti ci occuperemo dunque di haptics, poiché anche il nostro interesse va al tatto come comportamento dinamico, non chiuso su se stesso come una modalità incapsulata, ma costituito da azioni di esplorazione, movimenti, input muscolari, articolari, oltre che stimolazioni cutanee e termiche.

Al contrario di Gibson, cercheremo però di non sottovalutare l'importanza dell'elaborazione neurale dell'informazione percettiva e di affiancare quindi i dati delle neuroscienze a quelli della psicologia sperimentale, a quelli di altri campi in via di sviluppo, come le ricerche in corso sugli ambienti virtuali.

c) Nuovi contributi:

Uno dei primi obiettivi del presente lavoro è anche quello di compiere una ricognizione che permetta di analizzare una porzione la più vasta possibile di questo panorama.

Computer haptics:

Recentemente il termine "haptics" è cresciuto in popolarità con l'avvento del tatto nell'ambito dei computers. La "computer haptics" si interessa delle tecnologie e dei processi associati con la generazione e la proposizione di stimoli aptici a utilizzatori umani in ambienti di realtà virtuale, ovvero ambienti sintetici, generati da computers, con i quali l'utilizzatore umano può interagire per realizzare svariati compiti percettivi e motori. Le applicazioni di questa tecnologia spaziano dalla medicina, con l'utilizzo di simulatori chirurgici o di simulazioni di tessuti per l'addestramento, la diagnosi a distanza, l'effettuazione di operazioni; all'industria, per manipolare componenti meccaniche; alla cultura, con la costituzione di musei virtuali che permettono un'interazione tattile; all'educazione, con la possibilità di fornire agli studenti la sensazione di sets complessi di dati o fenomeni a scale diverse; all'arte, con la scultura virtuale via internet; all'intrattenimento, con giochi sempre più immersivi. D'altra parte, se questo tipo di ricerca si avvale dei risultati degli studi sulla "human haptics", allo stesso tempo fornisce a sua volta risultati interessanti per meglio comprendere il funzionamento dell'aptica umana.

Uno dei gruppi più attivi in questo ambito è il MIT Touch Lab; da Biggs e Srinivasan (2001) viene questa definizione, che integra in nel termine "haptics" le componenti provenienti dallo sviluppo degli ambienti virtuali:

Haptics is concerned with information acquisition and object manipulation through touch. Haptics is used as an umbrella term covering all aspects of manual exploration and manipulation by humans and machines, as well as interactions between the two, performed in real, virtual or teleoperated environments. Haptic interfaces allow users to touch, feel and manipulate objects simulated by virtual environments (Ves) and teleoperator systems. Cap. 5, p. 1.

Come si può notare, la definizione di questi autori lega il termine "aptica", negli umani come nelle macchine "to the use of hands for manual sensing and manipulation." (Srinivasan, Basdogan, Ho, 1999).

Ancora all'interno della "computer haptics", dal Glasgow Interactive Systems Group, viene una definizione comprensiva di tutti i livelli dell'elaborazione dell'informazione percettiva:

We define the human haptic system to consist of the entire sensory, motor and cognitive components of the body-brain system. It is therefore closest to our understood meaning of proprioceptive (see Table 1). We define haptics therefore to be anything relating to the sense of touch. Under this umbrella term, however, fall several significant distinctions. Most important of these is the division between cutaneous and kinesthetic information (see Table 1). There is some overlap between these two categories; critically both can convey the sensation of convey with an object. [...]

Table 1: Definitions of Terminology.

Haptic: Relating to the sense of touch.

Proprioceptive: Relating to sensory information about the state of the body (including cutaneous, kinesthetic, and vestibular sensations).

Vestibular: Pertaining to the perception of head position, acceleration, and deceleration.

Kinesthetic: Meaning the feeling of motion. Relating to sensations originating in muscles, tendons and joints.

Cutaneous: Pertaining to the skin itself or the skin as a sense organ. Includes sensation of pressure, temperature, and pain.

Tactile: Pertaining to the cutaneous sense but more specifically the sensation of pressure rather than temperature or pain.

Force Feedback: Relating to the mechanical production of information sensed by the human kinesthetic system.

(Oakley, McGee, Brewster, Gray,)

"Aptico" è dunque sempre un termine-ombrello, comprensivo di più componenti, sensoriali, motorie e cognitive, che coinvolgono l'intero sistema corpo-cervello; ma rimane legato alla componente esplorativa, motoria, attiva, della percezione tattile, e quindi all'intreccio di tatto e propriocezione che questa sviluppa quando il corpo va alla ricerca di informazioni.

Ecological perception:

In ambito di aptica umana, l'approccio ecologico è oggi portato avanti da alcuni gruppi, tra cui il Touch Laboratori del Queen's University di Kingston (Canada), diretto da S. Lederman, e che fa parte del Center for the Ecological Study of perception and action, di cui fanno parte M. T. Turvey e Claudia Carello. All'Arizona State university, Department of Psychology, Eric L. Amazeen si occupa in particolare della percezione aptica del peso. Alla Carnegie Mellon University di Pittsburgh, Roberta Klatzky è a capo del Department of Psychology, dove si occupa di tatto dinamico e delle capacità di riconoscimento del tatto. Alla university of Minnesota, Thomas A. Stoffregen si interessa alle brasi ecologiche del rapporto tra azione e percezione, in qualità di cinesiologo. Si tratta di una piccola parte del panorama generale di ricerche in atto sulla percezione tattile. Intanto vogliamo mettere in luce tre direzioni di ricerca di particolare interesse per la comprensione del funzionamento del sistema aptico umano:

- Mano intelligente. Alcuni lavori di Lederman, Klatzky e altri investigano le capacità di riconoscimento tattile con movimenti attivi, e introducono l'idea di "mano intelligente". Lederman, Klatzky (1987) ad esempio, mette in luce la

specificità del rapporto percezione-movimento nel caso del tatto. La mano comprende due sottosistemi, almeno da un punto di vista concettuale: un sottosistema sensoriale, con sensori cutanei, termici, cinestesici, il quale viene utilizzato per apprendere a proposito del mondo degli oggetti e della loro apparenza spaziale, e un sottosistema motorio, che è utilizzato per prendere attivamente e manipolare oggetti. Se molti esperimenti mettono in mostra il tatto come un senso povero e con scarse capacità di riconoscimento, è perché utilizzano stimoli bidimensionali che utilizzano una versione molto ristretta del sistema sensoriale. Secondo le autrici questa proprietà del tatto è simile ma non sovrapponibile ai movimenti esplorativi dell'occhio, in quanto nel caso del tatto i movimenti sono necessari per un accesso completo all'oggetto. La mano è dunque uno strumento intelligente, perché utilizza le proprie capacità motorie per migliorare le sue performances sensitive. L'idea è che il sottosistema motorio serve ad accrescere quello sensoriale, e che questa abilità è presente con gli oggetti reali, e non con stimoli planari. Per cui la mano (con il cervello) è uno strumento intelligente poiché usa le capacità motorie che possiede per estendere le sue capacità sensoriali.

Questa concezione ha aperto la strada ad una serie di studi sulle modalità esplorative manuali e il loro rapporto con le qualità dell'oggetto esplorate. Visto che la mano si avvantaggia delle competenze motorie per facilitare le sue funzioni percettive e cognitive, i movimenti della mano dovrebbero variare in associazione con certe dimensioni degli oggetti. A questo scopo, le autrici identificano un certo numero di procedure esplorative, ovvero di modi di esplorare con la mano nel corso dell'apprensione delle proprietà di oggetti; queste procedure hanno delle caratteristiche variano di volta in volta, ma anche delle caratteristiche invariabili, sulla base delle quali sono differenziate e individuate. Ad esempio, nella valutazione della ruvidità potranno esserci vari patterns di movimento, ma di sicuro non mancherà un movimento laterale, che definisce appunto la procedura esplorativa in causa. Ognuna di queste procedure è in relazione con una dimensione dell'oggetto (movimento laterale con tessitura, pressione con durezza, contatto statico con temperatura, sostenimento con peso, contornamento e contenimento con volume, contenimento con forma generale, contornamento con forma esatta, test di mobilità di parti con la mobilità delle parti, test funzionale con funzione).

Un'altra considerazione importante che viene da questo tipo di studi è dunque l'esistenza di un accoppiamento non solo percettivo-motorio, ma anche intenzionale-percettivo-motorio in quanto la scelta della classe di movimento utilizzata è dettata dall'oggetto e dalle proprietà che si sceglie di processare.

- Studi specifici sulla percezione di alcune qualità eminentemente tattili. Esempio: Tessiture. Katz (1925) aveva parlato della superiorità del tatto rispetto alla vista nella valutazione di qualità come la ruvidità, la liscchezza, la durezza, la rigidità, la granularità, l'oleosità, la sdruciolezza, ecc. Queste qualità sono modificazioni del tatto di superficie, e la loro percezione dipende fortemente dalla vibrazione, che si produce quando tra mano (dita) e oggetto avviene un movimento relativo: quando le dita sono stazionarie su una superficie non c'è vibrazione e di conseguenza viene a mancare la percezione della tessitura: i movimenti laterali sono necessari per la percezione di ruvidità e liscchezza, quelli verticali per la morbidezza e la durezza. Katz aveva anche fatto notare il ruolo della temperatura della pelle e delle superfici nella percezione di queste ultime, e l'importanza dei suoni prodotti dal tatto per il riconoscimento dei diversi materiali.

In Schiff, Foulke (1982) e in altri articoli, Lederman riprende questo tema e sottolinea che lo studio della percezione tattile delle tessiture offre un'opportunità eccellente per studiare il tatto nelle sue specificità. L'autrice conduce una critica degli approcci al rapporto tra modalità sensoriali in cui viene messo in mostra che la vista è più accurata o domina il tatto:

"Suggestions of this kind derive from the notion that touch exists only to do things that vision can do better. [...] touch, as touch, has its own capabilities and limitations. [...] A partial list of object properties readily determined by touch and not by vision or hearing might include temperature, hardness, roughness, elasticity, stickiness, slipperiness, rubberiness, the homogeneity of what lies under the surface, and so forth. Combinations of these properties are together perceived as texture, and texture, not form alone is the prime province of touch." (251-252)

Negli anni '60 e '70 sono stati svolti alcuni studi specifici sulla capacità di riconoscimento delle diverse tessiture, molti dedicati in particolare alla ruvidezza o alla sensibilità alla vibrazione. Quest'ultima in particolare è correlata ad applicazioni che riguardano devices comunicative per ciechi, come la lettura braille o strumenti come Optacon. Lederman e Taylor, Lederman, Gibson (in Carterette, 1973) forniscono una analisi della letteratura prodotta sulla percezione tattile di tessiture degli anni '60 e '70 in particolar modo, su cui non ci soffermeremo.

Lo studio della percezione di tessiture apre una prospettiva anche su funzioni percettive tradizionali; in particolare, l'azione congiunta, integrata e indipendente di sistemi sensoriali diversi, ovvero di affrontare il problema della natura dell'integrazione intra e intermodale, visto che nella percezione della tessitura, intervengono inputs cutanei, termici, cinestesici, uditivi e visivi. Per quel che riguarda l'integrazione inter e intramodale, gli autori offrono un modello cibernetico della natura "multimodale" della percezione della tessitura, che costituisce un esempio di azione coordinata dei sistemi cinestetico-proprioceettivo, udito, visione, sensazioni cutanee, temperatura. Noi lo offriamo come esempio, senza prendere posizione rispetto ad esso, di come, a partire da una funzione specifica, un comportamento adattativo come la percezione di tessiture, si può fornire un modello di integrazione tra modalità e di rapporto col movimento, che guida e da cui è guidato.

Modello della funzione trasduttore. L'interazione tra la superficie dell'oggetto e la pelle è considerata come un trasduttore, un operatore che trasforma l'energia dell'input (movimenti relativi e forze tra mano e oggetto) nell'output (deformazioni pelle, effetti termici, suoni, ...); la sua funzione è dunque determinata dalle proprietà dell'oggetto e da quelle della pelle, conosciute le quali è possibile conoscere l'interazione pelle-superficie. Gli outputs del trasduttore sono inputs per i vari organi di senso. Nel caso in questione il trasduttore, la relazione pelle-superficie in causa è la tessitura. Vengono introdotti a questo punto 3 circuiti a feedback, gerarchicamente concepiti, che rendono conto del movimento delle dita sulla superficie, ma che dipendono da una teoria del controllo motorio piuttosto comune e non della percezione di tessitura: uno con la funzione di portare avanti la decisione di saggiare una certa modalità della tessitura, come la ruvidezza (circuitto di controllo generale nominato Behavior Control): seleziona la strategia di esplorazione tattile adeguata; un altro circuito frammenta i comandi generali del Behavior Control nei comandi per i singoli movimenti necessari (Movement Control); un terzo circuito

(Motor Control) frammenta a sua volta i comandi di movimento in comandi per singoli muscoli e monitora gli effetti per assicurare che il movimento sia correttamente eseguito. Il movimento così eseguito dà luogo ad un flusso di input e output dal trasduttore, di tipo visivo, cinestetico, ecc, i quali terminano in un modulo chiamato Analizzatore di tessiture, il quale riceve informazioni anche dal Behavior Control a proposito dell'intenzione del movimento. L'Analizzatore considera la tessitura, e se la valutazione soddisfa le richieste del Behavior Control, chiude il processo; altrimenti continua o modifica la strategia di movimento. [figure 264, 268]

Inoltre, il ruolo, messo in luce da Katz, del movimento in questo tipo di percezione, permette di approfondire la differenza tra tatto passivo e tatto attivo.

Vogliamo da parte nostra sottolineare che l'interesse per lo studio di capacità specifiche, come la percezione di tessiture, è importante anche da un punto di vista metodologico. Esso permette infatti di focalizzare l'attenzione non su una modalità sensoriale più o meno arbitrariamente isolata dalle altre modalità o da altre condizioni, come il movimento, ma su un comportamento complesso, che emerge nell'integrazione di più componenti, le quali possono così essere investigate nella loro interazione dinamica e in una condizione di funzionamento effettivo. E' il tipo di scelta metodologica che ci era sembrata necessaria dopo la nostra rivista nella neurofisiologia tradizionale, molto concentrata sui moduli verticali. La psicologia del tatto va dunque almeno in questo senso incontro a delle esigenze metodologiche che la neurofisiologia più tradizionale non assolve a pieno.

- Meccanica rotazionale e Tensore inerziale. Turvey (1996) si occupa in particolare "tatto dinamico", il tatto in cui è prominente il contributo dello sforzo muscolare, ovvero quello in cui prevale la risposta collettiva dei meccanocettori di muscoli e tendini come effetto del cambiamento di flusso di energie meccaniche che hanno come effetto lo stiramento, la compressione, ecc. di muscoli e tendini. E' il tatto del tenere in mano e muovere un oggetto in qualche modo. In questo tatto "the role of muscles as measuring instruments relates to their role as producers of movement." (Turvey, 1996, 1134)

Turvey mette in luce il ruolo giocato dalle quantità della dinamica rotazionale, visto che i movimenti delle membra sono di tipo rotazionale, e propone un modello biomeccanico di spiegazione della percezione del peso, della lunghezza, e delle altre dimensioni dell'oggetto, che si basa sulle quantità del tensore dell'inerzia. In questo modo riesce a fornire delle leggi della percezione, le quali hanno come banco di prova le illusioni di tipo tattile che si producono nella valutazione della forma e delle dimensioni dell'oggetto. Lo studio delle illusioni tattili diventa quindi particolarmente importante quando si tratti di trovare leggi alla percezione degli oggetti, ma sempre in relazione con la percezione del proprio corpo, ovvero con la propriocezione.

Questo tipo di studi suggerisce dunque l'interesse di studiare più in particolare le illusioni tattili, intese come una finestra sulla percezione aptica, il modo in cui si producono, il loro significato nella percezione, e in particolare quelle legate al "senso muscolare." E' da qui che svilupperemo il nostro discorso nella seconda parte di questo testo: affronteremo le ricerche in atto e passate riguardo alle illusioni tattili, per cercare di approfondire le due tematiche che si sono messe in evidenza come particolarmente cruciali per il tatto e interessanti per rispondere alla domanda iniziale: Come accade che percepiamo una realtà esterna?

Abbiamo visto fin qui che l'approccio tradizionale delle neuroscienze suggerisce una maggiore interazione tra percezione e movimento e tra diverse modalità o sottomodalità percettive, ma rimane spesso legato ad una visione eccessivamente segregazionista, verticale e gerarchica. L'approccio della psicologia della percezione tattile, in particolare per quel che riguarda i recenti sviluppi della psicologia ecologica, mette invece in luce questo tipo di interazione, ma spesso al prezzo di un abbandono della dimensione neurofisiologica, alla quale, crediamo, non si può in alcun modo rinunciare.

L'approccio all'illusione tattile permette di raccogliere contributi nuovi sia dalla psicologia, che dalle neuroscienze, e di trovare risposte positive al problema della percezione della realtà esterna. Fino ad adesso infatti, in questo testo, non abbiamo potuto molto di più che criticare alcuni approcci in corso, invocare la necessità di maggiore integrazione, rifiutare le segregazioni percettive e percettivo-motorie. Lo studio dell'illusione permette di trovare risposte affermative, in quanto funziona da banco di test per questo tipo di relazioni.

BIBLIOGRAFIA DELLA PRIMA PARTE

- Biggs, S. J., Srinivasan, M. A. (2001), *Haptic Interfaces*
 Boccardi-Lissoni (1992): *Cinesiologia*, Roma, Società Editrice Universo.
 Gibson, J. J. (1962), *Observations on active touch*, *Psychological Review*, 69 (6).
 Gibson, J. J. (1966), *The senses considered as perceptual systems*, Boston, Houghton Mifflin Company.
 Heller, M. A., Schiff, W. (Eds.), *The Psychology of Touch*. Hillsdale, NJ, L. Erlbaum Associates Publishers, 1991.
 Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Hessel, T. M., Eds., (2000), *Principles of neural science*, 4th Ed., McGraw-Hill.
 Katz, D. (1989). *The World of Touch*, ed. and transl by Lester E. Krueger, Hillsdale, L. Erlbaum Associates Publishers, 1989.
 Klatzky, R. L., Lederman, S. J., Metzger, V. A., *Identifying objects by touch: An "expert system"*, *Perception & Psychophysics*, 1985, 37 (4), 299-302.
 Lederman, S. J. (1982), *The perception of texture by touch*, in Schiff, W., Foulke, E. (1982), *Tactual perception: a sourcebook*, Cambridge, Cambridge University Press.

- Lederman, S. J., & Klatzky, R. L. (1987). Hand Movements: A Window into Haptic Object Recognition, *Cognitive Psychology*, 19(3), pp. 342-368
- Lederman, S. J., & Taylor, M. M., Fingertip force, surface geometry, and the perception of roughness by active touch, *Perception & Psychophysics*, 12 (5), 401-408.
- Loomis, J. M., Lederman, S. J. (1986), Tactual perception, in Boff, K., Kaufman, L., Thomas, J., Eds., *Handbook of perception and human performance*, New York, Wiley.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Katz, L. C., La Mantia, A. S., McNamara, J. O., Eds. (1997), *Neurosciences*, Sinauer Associates, Inc.
- Revesz, G., *The human hand, a psychological study*, London, Routledge and Kegan Paul, 1958.
- Taylor, M. M., Lederman, S. J., Gibson, R. H. (1973), Tactual perception of texture, in Carterette, E. C., Friedman, M. P., *Handbook of Perception*, Los Angeles, Academic Press.
- Turvey, M. T. (1996), Dynamic touch, *American Psychologist*, 51 (11): 1134-1152.
- Weber, E. H. (1905), *Tatsinn und Gemeingefuhel*, in Herrnstein, J, Boring, E. J., eds. (1965), *A sourcebook in the history of psychology*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.

PARTE SECONDA: L'ILLUSIONE COME FINESTRA APERTA SULLA PERCEZIONE TATTILE.

La panoramica sul tatto alle prese con la percezione della realtà ci ha condotto fin qui a dare una la descrizione in termini neurofisiologici e psicologici delle diverse modalità tattili, e a puntare la nostra attenzione sul tatto come strumento di esplorazione della realtà.

Questa attenzione ha fatto sì che alcune relazioni ci sembrassero particolarmente rilevanti per comprendere la percezione tattile:

- il ruolo del movimento attivo nella percezione aptica o dinamica;
- per conseguenza: l'interazione tra modalità sensoriali diverse (tattili, cinestesiche) e componenti motorie coinvolte nell'esplorazione dell'oggetto;
- per conseguenza il ruolo di componenti muscolari, tendinee, articolari, proprie della percezione della condizione posturale e di movimento del corpo (propriocezione o cinestesi), nella percezione tattile dell'oggetto (esterocezione mediata da propriocezione)

La scelta dell'illusione.

Vogliamo adesso tentare di affrontare queste relazioni a partire da un angolo di osservazione particolare: l'illusione aptica.

Ci sono ragioni generali e ragioni più specifiche per una scelta di questo tipo.

Tralascieremo i richiami che più volte sono stati fatti all'illusione percettiva per appoggiare teorie scettiche o egocentriche della conoscenza, perché al contrario non siamo interessati a validare questo tipo di progetto, ma solo a mostrare, sulla base delle recenti evoluzioni delle scienze neurofisiologiche e cognitive, alcuni processi in causa nella percezione aptica della realtà esterna, e a estrarre da queste ricerche delle considerazioni che coinvolgono problematiche proprie alle scienze cognitive come alla filosofia della conoscenza. Presenteremo queste considerazioni in una terza parte di questo testo, dedicata alla riflessione sui dati presentati nella prima e in particolare nella seconda parte in atto.

Per il momento enumeriamo alcune considerazioni sull'utilità, ma anche la difficoltà di un approccio attraverso l'illusione:

- una prima ragione di ordine metodologico generale è costituita dallo statuto di "errore sistematico" rivestito dall'illusione percettiva. Come la patologia rispetto alle funzioni nervose, l'illusione aiuta a mettere in evidenza alcuni meccanismi della percezione proprio nel momento in cui questi sembrano "entrare in crisi" (illusione-patologia della percezione). Permette in effetti di considerare quali processi possono entrare in crisi, in che modo, con quali effetti rispetto alla "percezione normale". In realtà, rispetto alla patologia cerebrale, l'illusione percettiva non permette di dare luogo a delle localizzazioni neurologiche, ma aiuta comunque a localizzare degli stimoli specifici per un certo tipo di percezione: il tipo di stimolo che produce l'illusione aptica in causa è certamente significativo per la percezione aptica. Possiamo così analizzare gli attori in gioco, anche quando questi provengono da modalità sensoriali diverse (una modalità sensoriale in conflitto con un'altra ad esempio), e controllare il loro peso nella percezione di un certo tipo di qualità, ovvero la loro dominanza relativa l'uno sull'altro. Inoltre possiamo misurare le condizioni che favoriscono o sfavoriscono il presentarsi dell'illusione e disegnare quindi una mappa di interazioni tra componenti diverse: componenti dello stimolo, del sistema percettivo aptico, del sistema motorio e di altri sistemi sensoriali (vedremo ad esempio illusioni proprie del tatto attivo o dinamico, tali cioè da mettere in gioco sensazioni tattili, cinestesi e organi del movimento; e illusioni che scompaiono quando la visione aggiunge un'altra "illusione" all'illusione tattile, come in alcuni casi di cura dell'arto fantasma). Questi tre tipi di informazioni possono

fornire materiale per modellizzazioni non solo psicologiche ma anche neurofisiologiche del funzionamento della percezione tattile.

- Un articolo di R. Granit sul funzionamento dei fusi neuromuscolari ci sembra esemplare del ruolo epistemico dell'illusione. Granit (1972) sostiene che normalmente noi non abbiamo la sensazione del momento che compiamo, nessuna sensazione specifica dei muscoli; eppure il ruolo dei recettori sensoriali inseriti nei muscoli è fondamentale nell'ipotesi di Granit per il controllo della corrispondenza progettato e movimento eseguito, e per l'esecuzione e la correzione di questo in relazione al primo. In effetti, finché tutto va bene, e le aspettative sono rispettate non c'è bisogno di percepire specifiche sensazioni dei muscoli, per cui solo i movimenti propriamente detti sono percepiti. L'unico modo per avere coscienza (sia il soggetto, quanto in un certo modo lo sperimentatore) delle sensazioni muscolari che fanno parte del meccanismo di controllo del movimento è che accada qualcosa di inatteso e un'attenzione speciale venga portata su di esso. Da qui l'interesse dei fisiologi per le illusioni ovvero gli errori costanti di giudizio sulla performance motoria. Quando il sistema di controllo rivela una discrepanza tra comandi e movimento, è più facile analizzare il funzionamento del meccanismo generale sotteso e del sistema percettivo dei fusi neuromuscolari in particolare. Così l'articolo di Granit si compone dell'analisi di una serie di errori nell'esecuzione e apprezzamento del movimento al fine di appoggiare la sua tesi che i fusi neuromuscolari fanno parte di un meccanismo automatico, quindi generalmente silente, inconscio, di controllo dell'esecuzione dei movimenti, il quale rivela la sua presenza nelle varie illusioni che il suo funzionamento può produrre.
- In realtà, parlare di "errori" può essere fuorviante perché questo termine implica l'idea di una sorta di sbaglio, di inganno, in cui cadrebbero le componenti centrali dell'analisi dello stimolo sensoriale quando lo stimolo in questione è ambiguo. In realtà, lo vedremo meglio nella descrizione di diverse illusioni aptiche, questo non vale all'interno di alcuni modelli della percezione tesi a rendere conto di alcune illusioni aptiche. Esistono in effetti molti tipi di illusioni che riguardano le varie componenti del senso del tatto, e diversi tipi di spiegazioni del loro funzionamento.
- Intenderemo dunque il termine "errore" nel senso di fenomeno particolare, identificabile e quindi analizzabile e testabile individualmente, e riproducibile. E' questo il vantaggio pratico dello studio delle illusioni (illusione-fenomeno circoscritto).
- Vogliamo infine segnalare le ragioni che sono specifiche all'illusione aptica. Abbiamo in effetti individuato alcuni gruppi di illusioni del senso del tatto che permettono di analizzare alcuni meccanismi in atto nelle relazioni che abbiamo indicato come rilevanti nella comprensione della percezione tattile. I gruppi a cui faremo principalmente riferimento sono:
 - illusioni della propriocezione e della cinestesi (Goodwin, McCloskey, Matthews; Eklund, ..)
 - illusioni delle qualità fisiche, geometriche e spaziali dell'oggetto rispetto al corpo: orientamento, dimensione (lunghezza, peso);
 - studi sull' arto fantasma (Ramachandran).

Un'illusione esemplare: Size-weight illusion (swi).

Una delle illusioni aptiche più studiate riguarda la percezione del peso, ed è nota come illusione della dimensione-peso in quanto si riferisce all'influenza della dimensione dell'oggetto sul peso percepito. Una review degli esperimenti sulla percezione del peso (studi psicofisiologici delle condizioni che influenzano la capacità di discriminare il peso di oggetti e la forza esercitata dai muscoli in condizioni diverse: range di pesantezze, effetti della gravità, rapporto tra intensità dello stimolo e magnitudine della sensazione, ruolo della sensazione nell'esercizio di muscoli e articolazioni, ruolo di componenti centrali e periferiche nella percezione della forza muscolare, effetti della debolezza muscolare di origini diverse e della struttura dello stimolo nella produzione di illusioni riguardo alla pesantezza percepita), delle loro metodologie e delle spiegazioni della swi, si trova in Jones, 1986.

La swi viene descritta per la prima volta nel 1891 da Charpentier come effetto del volume sulla percezione del peso: di due sfere di eguale massa ma diametro diverso, sollevate nel palmo della mano, la più grande è percepita come più leggera. Nel 1894, Flournoy aggiunge a questa descrizione la conferma che la sottovalutazione del peso per oggetti più larghi ma di massa eguale persiste anche per soggetti a conoscenza dell'identità del peso degli oggetti: la conoscenza dunque sembra non influire sulla percezione del peso con occhi chiusi e movimento attivo.

Molti studi si sono dedicati in seguito a scoprire come massa e volume sono legati nel risultante peso percepito (Anderson, 1970; Cross, Rotkin, 1975; Harper, Stevens, 1948; Koseleff, 1957; Ross, 1969; Rule, Curtis, 1977; Stevens, Rubin, 1970), ovvero cosa avviene al variare del peso a parità di volume e al variare del volume a parità di peso, ma non sembra che queste due variabili si sommino semplicemente nel condurre alla percezione della pesantezza (Cross, Rotkin, 1975; Ross, 1969).

Questa direzione della ricerca ha condotto alcuni autori a identificare nella densità una variabile influente per il peso percepito a massa costante (Harshfield, De Hardt, 1970; Huang, 1945; Ross, 1969; Stevens, Rubin, 1970; Cross, Rotkin, 1975), anche se il suo effetto sembra comunque dipendere dal peso (Ross, Di Lollo, 1970).

Altri studi ancora, sulle illusioni del peso, hanno cercato di distinguere gli effetti di massa e peso variando le condizioni di gravità (Ross, Reschke, 1982), dando come risultato un'apparente maggiore dipendenza della percezione della pesantezza dal peso che dalla massa inerziale dell'oggetto, a causa del ruolo importante della gravità (a 0-G la pesantezza dell'oggetto appare sottostimata rispetto a 1-G e ancora di più rispetto a 1,8-G).

Per quel che riguarda le spiegazioni della swi, in generale vedremo che nelle spiegazioni della swi, il movimento esplorativo ha sempre una grande importanza. Vuoi che si tratti del movimento centralmente generato, vuoi che si tratti delle dinamiche

rotazionali del sistema combinato del corpo e dell'oggetto, risulta difficile separare dalla percezione del peso l'attività manuale che vi è connessa.

Nel caso delle teorie del comando motorio o dell'aspettativa, il ruolo del movimento nella percezione del peso è identificato col ruolo delle scariche corollarie dei comandi motori centrali (vedremo in seguito che anche i segnali afferenti periferici muscolari possono fare da fondamento ad una "teoria motoria" della percezione del peso).

Per "scariche corollarie" si intende un flusso di informazione generato centralmente dai comandi motori, il quale raggiunge le aree sensitive; questo flusso efferente si contrappone al flusso afferente, che proviene dai recettori sensoriali situati nei muscoli, nei tendini, nelle articolazioni, o nella cute, e che fornisce una informazione generata perifericamente. Il dibattito sul peso relativo della componente centrale efferente e di quella periferica afferente nella percezione della forza e del peso data dal XIX secolo, e si continua sino ad oggi.

Nel suo scritto sul tatto del 1834, Weber, il quale può essere considerato il pioniere degli studi di psicologia sperimentale sulla percezione del peso, pone il problema se la percezione del peso dipenda più dal tatto o dal "senso muscolare", a partire dalla constatazione che la discriminazione del peso è sempre più esatta se il peso è sollevato con la mano. Una delle componenti primarie del senso muscolare è infatti il "senso di forza", ovvero l'abilità a discriminare pesi di masse diverse attraverso l'esercizio muscolare volontario (Bell, 1834), tanto che alla fine del XIX secolo, la discriminazione del peso diventa il test più utilizzato per la valutazione del senso muscolare.

Anche studi più recenti (Brodie, Ross, 1984; Holway, Hurvich, 1937; Victor Raj et al., 1985) mettono in luce il miglioramento della discriminazione del peso con sollevamento attivo rispetto alla condizione in cui la contrazione muscolare dell'arto che tiene il peso è riflessa (ad esempio indotta da una stimolazione elettrica). Ma è ancora poco chiaro il ruolo della componente efferente, visto che la discriminazione migliora quando l'oggetto è sollevato attivamente, ma è ancora possibile in assenza di esercizio muscolare attivamente generato, come in caso di sollevamento riflesso.

Sono Ferrier, 1886 e Waller, 1891, i quali proseguono le ricerche di Weber, a comparare la discriminazione del peso in condizioni diverse di attivazione muscolare, allo scopo di mettere in chiaro se la percezione del peso e quindi il senso muscolare, derivi da sensazioni periferiche che originano nei muscoli, nelle articolazioni e nella pelle (Bell, 1826), o da sensazioni generate centralmente e che sorgono dall'innervazione efferente (sensazione dell'innervazione di Helmholtz, 1866).

All'inizio del XX secolo, il concetto di irradiazione centrale di impulsi muscolari tende a scomparire a favore dell'importanza degli organi periferici sensoriali nella propriocezione, come sottolineato da Sherrington, 1900. Per Sherrington l'attività dei recettori periferici rende conto di tutti i fenomeni in causa.

L'abbandono delle sensazioni di innervazione dal panorama della propriocezione dura circa un mezzo secolo, e, a partire dagli anni '60, si rovescia in una posizione che rifiuta ai recettori muscolari ogni ruolo nella propriocezione cosciente, e limita la loro attività al controllo di movimenti riflessi o automatici. Ritorneremo in seguito su questo argomento, quando dalla descrizione della swi passeremo a illustrare alcune illusioni propriocettive che riguardano le sensazioni di movimento e posizione.

Negli anni '70, come abbiamo detto, le informazioni periferiche e quelle centrali sono ambedue presenti nelle spiegazioni sulla percezione del peso e della forza. Queste posizioni sono all'opera nelle interpretazioni della swi che dominano negli anni '70 e che assegnano un ruolo chiave alla componente delle informazioni generate centralmente. McCloskey, 1978, e Roland, 1978, sostengono che l'informazione sensoriale sulle forze esercitate nella contrazione muscolare ha almeno due fonti: una scarica corollaria, ovvero il correlato neurale interno del segnale motorio inviato al pool di motoneuroni e trasmesso ai centri sensoriali, e le scariche afferenti, che sorgono dai recettori periferici, di muscoli, tendini e articolazioni. Grandevia, McCloskey, 1977, McCloskey et al., 1979, suggeriscono che le scariche corollarie sono coinvolte nella percezione della forza muscolare. Nello stesso tempo però, altri studi mostrano che il contributo dei recettori muscolari alla propriocezione non può essere aggirato, poiché in sua assenza le scariche centralmente generate dal comando motorio non segnalano la posizione e il movimento delle membra (Eklund, 1972; Goodwin, McCloskey, Matthews, 1972; Goodwin et al., 1972, McCloskey, Torda, 1975). In ogni caso si esclude indirettamente che la sola informazione sensoriale sia significativa per l'illusione, sia che essa provenga dai recettori cutanei (Ross, 1966), che da quelli muscolari (McCloskey, 1974).

Swi. Modelli "centrali" di "confronto sensorio-motorio".

Negli anni '70 sono state particolarmente influenti alcune spiegazioni "centrali" o cognitive dell'illusione del peso, in cui cioè hanno grande rilievo le aspettative del soggetto, le sue conoscenze, i programmi motori che mette in campo per entrare in relazione con gli oggetti. Si tratta delle teorie del comando motorio centrale, dell'aspettativa, e dell'integrazione dell'informazione. In generale vi è presente l'idea che la swi, e l'illusione in generale, è:

- un errore percettivo,
- dovuto ad un conflitto tra informazioni motorie centrali e informazioni periferiche afferenti, vuoi che sia l'esperienza passata a essere messa particolarmente in rilievo, come nelle teorie dell'integrazione, vuoi che sia il contrasto tra due tipi di informazione, l'una proveniente dal sistema motorio e l'altra da quello sensitivo.

Il primo gruppo di queste spiegazioni "centrali", si basa sull'importanza dell'aspettativa. Si tratta di teorie "cognitive" dell'illusione, ovvero di teorie che affidano un ruolo importante a quello che il soggetto "sa" prima di percepire il peso dell'oggetto, in base a esperienze passate che gli permettono di avere una conoscenza della relazione "tipica" tra un oggetto di una certa dimensione e un certo peso.

Secondo le spiegazioni basate sull'aspettativa (Ross, 1969; Ross, Gregory, 1970), i soggetti si attendono, sulla base dell'esperienza precedente, che l'oggetto più largo sia anche più pesante, e quindi si presume che impieghino un comando motorio più grande da trasmettere ai muscoli del sollevamento; la velocità inattesa del sollevamento si traduce nella percezione di una minore pesantezza rispetto ad oggetti più piccoli ma di massa identica. L'illusione deriverebbe dunque dal contrasto input sensorio della periferia e flusso sensorio previsto. Per supportare questa teoria, Masin, Crestoni, 1988 offre

una bibliografia della letteratura che sottolinea il ruolo dell'aspettativa, e suggerisce che sebbene sia plausibile che la swi sia condizionata dall'esperienza, tuttavia l'aspettativa influenza la pesantezza percepita solo dopo che la rappresentazione interna del peso, ottenuta mediante stimolo visivo, è stata generata e quando le due rappresentazioni interne della pesantezza, w (basata sulla percezione soggettiva aptica del peso) e w^* (basata sulla percezione visiva dell'oggetto) sono simultanee. Questo mette in discussione la prospettiva basata sull'aspettativa cognitiva: se gli stimoli devono essere contemporanei è perché la componente cognitiva non basta a produrre l'illusione. E' da notare inoltre che gli autori non considerano la swi come un'illusione non propriamente aptica, in quanto perché si produca illusione lo stimolo aptico deve avvenire in contemporanea a quello visivo.

Indipendentemente dal risultato è interessante notare come anche in questi studi "cognitivi", la percezione del peso sia indissociabilmente legata al movimento attivo del sollevare la mano. Il ruolo del movimento diventa tanto più evidente nei modelli del comando motorio generato centralmente.

Altri autori (Davis, Brickett, 1977) si rifanno alla teoria motoria della percezione del peso proposta da Müller e Schumann nel 1889, ovvero che la facilità di sollevamento di un oggetto ne influenza la pesantezza percepita: se lo stesso sforzo è esercitato nel sollevamento, un oggetto più leggero sarà sollevato più velocemente e quindi sembrerà più leggero. Quindi quando oggetti di eguale peso saranno sollevati con differenti velocità, dovrebbe risultare un effetto illusorio. La swi potrebbe essere un altro esempio di differenza nelle forze di sollevamento tale da produrre differenze nelle pesantezze percepite. Secondo Müller e Schumann (1889), l'esperienza con oggetti grandi e piccoli ci induce a sollevare gli oggetti grandi con forze maggiori di quelle che dispieghiamo per gli oggetti piccoli, producendo una differenza di peso. Davis, Roberts, (1976) mostrano che quando la swi occorre, la più grande di due lattine di eguale peso viene sollevata con un'accelerazione maggiore e un maggiore picco di velocità della piccola. La preparazione muscolare per il sollevamento sarebbe dunque in funzione della dimensione dell'oggetto e sarebbe all'origine della swi, e influenzerebbe le modalità del sollevamento e quindi la percezione che ne risulta.

"The genesis of the SWI clearly lies in muscular events beginning at least 1/2 sec before the lift of the first can." (Davis, Brickett, 1977, 263-264)

Le basi neurali proposte per questa spiegazione coinvolgono la preparazione dei muscoli per l'azione e il ruolo che in questa rivestono i fusi neuromuscolari. Il modello per il controllo del movimento è preso in prestito a Granit (1972, 1975), per cui il muscolo viene preparato all'azione attraverso la sensibilizzazione dei fusi neuromuscolari. Secondo Davis, e altri, dunque la percezione del peso degli oggetti è largamente dipendente dai propriocettori nei muscoli, i quali hanno il doppio ruolo di reagire sia al peso sollevato (stiramento) che alla forza esercitata per il sollevamento. I fusi reagiscono allo stiramento con un aumento di frequenza di scarica, ma la loro sensibilità allo stiramento può essere modulata via controllo neurale centrale attraverso le fibre motorie fusali del circuito gamma. Nell'azione volontaria, c'è una coattivazione delle fibre muscolari extrafusali e di quelle intrafusali, le quali influenzano i motoneuroni che eseguono l'azione, portandoli a contrarsi maggiormente. La componente fusale del controllo del movimento potrebbe dunque essere centrale nelle aspettative: il comando motorio più grande potrebbe causare una maggiore scarica dei fusi neuromuscolari, la quale a sua volta faciliterebbe una maggiore e più veloce contrazione dei flessori coinvolti nel sollevamento, mentre i recettori inseriti nei tendini registrerebbero la tensione oggettivamente. Il disaccordo tra la tensione registrata dai fusi e quella registrata dai tendini sarebbe all'origine dell'illusione. L'illusione sarebbe dunque prodotta da una cattiva preparazione dell'attività muscolare da parte dei fusi, che comporta l'applicazione di una forza maggiore del dovuto. L'ipotesi dei fusi serve a sormontare il "problema cognitivo" legato alla swi, ovvero il fatto che l'illusione si produce lo stesso, anche se i soggetti sono a conoscenza dell'identità di peso degli oggetti dell'esperimento. L'aspettativa non è di tipo cognitivo, ma "muscolare", legata alla preparazione dei fusi.

Per sostenere l'ipotesi che la pesantezza percepita è legata alla percezione delle forze usate per muovere un oggetto, e quindi allo sforzo muscolare effettuato a questo scopo, Jones (1986) offre una review degli studi sul ruolo dei comandi motori centrali e delle loro scariche corollarie sensitive, a partire da studi svolti sugli effetti della debolezza muscolare sulla percezione della forza muscolare esercitata e del peso. Il suo presupposto è che un solo sistema sia in causa nella percezione della forza e del peso, visto che quando la pesantezza percepita di oggetti è esaminata in assenza di stimoli visivi, i risultati sono gli stessi di quelli ottenuti in esperimenti di force-matching in condizioni isometriche (McCloskey et al., 1974). Questa asserzione si rivela comunque problematica rispetto all'influenza, dimostrata dall'esistenza della swi, da parte di altre dimensioni dell'oggetto, ovvero il suo volume, sulla percezione del peso, a parte la forza esercitata per il suo sollevamento.

Pare da questi articoli che, indipendentemente da ciò che la causa, disordini neuromuscolari, curarizzazione, fatica muscolare, ecc., la debolezza muscolare si associ ad un aumento della pesantezza percepita degli oggetti ed ad una diminuzione della forza esercitata percepita. Jones, 1986 elenca una serie di questi esperimenti, consistenti con l'ipotesi del comando motorio centrale:

- Disordini neurologici: nel 1917 e nel 1922, Holmes descrive una sindrome da lesione emicerebellare senza compromissione sensoriale, che presenta sovrastima del peso sollevato con l'arto ipsilaterale alla lesione, e attribuisce questo fenomeno all'ipotonìa dell'arto, con conseguente incremento nel comando della contrazione muscolare per superare la riduzione dell'eccitabilità muscolare e raggiungere un livello accettabile di forza (Angel, 1980). Una simile sovrastima viene riportata in caso di emiparesi da lesione del motoneurone primario, senza perdita sensitiva. Un'ipotesi è che vi sia un aumento dell'output neurale lungo le vie preservate (Grandevia, McCloskey, 1977).
- Deafferentazione: una deafferentazione distale prodotta da neuropatia sensoriale severa (Rothwell, et al., 1982) rende impossibile la valutazione del peso di un oggetto posto nella mano del paziente, ma non il controllo dell'esercizio della forza muscolare dei flessori del pollice, anche in assenza di feedback periferico.
- Ancora Grandevia e McCloskey riportano gli effetti di paresi indotte da curarizzazione dei muscoli dell'avambraccio, che gli autori ritengono consistenti con l'idea che i giudizi di forza siano in relazione alla

grandezza dei comandi motori generati centralmente per produrre la contrazione, più che con i segnali afferenti dai muscoli contratti. In contrasto con questi risultati, Roland, Landegaard-Pedersen, 1977, e Cambell, Edwards, Hill, Jones, Sykes, 1976, riportano l'esperienza di soggetti con curarizzazione parziale dei muscoli del braccio, capaci di valutare correttamente le forze prodotte dalla flessione dell'avambraccio o la percezione dello sforzo. Il che rimette in causa il ruolo dei segnali muscolari e degli organi tendinei del Golgi.

- L'aggiunta alla curarizzazione di una anestesia periferica di pelle e articolazioni, o anche la semplice anestesia senza bloccaggio pare comunque incidere nell'aumento della pesantezza percepita (Grandevia, McCloskey, 1977; Marsden et al., 1979); negli stessi studi viene fatta anche l'esperienza dell'alterazione del segnale sensoriale proveniente da regioni periferiche di solito usate cooperativamente, come il pollice e l'indice: essa è sufficiente ad alterare la percezione della forza esercitata da un singolo gruppo muscolare che partecipa alla performance generale.
- La fatica muscolare prodotta da esercizio prolungato produce anch'essa aumento del peso percepito, come mostrato in diversi studi, Stevens, Cain, 1970; Cain, Stevens, 1971; Teghtsoonian et al., 1977; Jones, Hunter, 1983; Jones, 1983), e gli autori sono inclini a vedere anche in questo fenomeno una evidenza a favore della tesi della mediazione centrale della percezione, visto che anche in questo caso il segnale deve aumentare se si vuole mantenere la forza costante.

Ricerche più recenti (Lansing, Banzett, 1993) sembrano mettere in discussione questo ruolo della debolezza, in particolare della paralisi muscolare, sulla percezione del peso, e quindi in generale il ruolo dei comandi motori generati centralmente. I due autori fanno notare che le ricerche sugli effetti della paralisi sul peso sono svolte per la grande maggioranza dei casi su paralisi parziali, in cui dunque non tutti i muscoli di un arto sono bloccati; le loro ricerche su 4 soggetti con paralisi totali di tutto il corpo mostrano in opposizione coi precedenti risultati che la pesantezza percepita non è associata ai comandi centrali che iniziano la contrazione muscolare. Tuttavia l'attività del prendere l'oggetto sembra ancora essere coinvolta.

Nel quadro della debolezza muscolare vengono comunque messi in luce anche fattori biomeccanici: un cambiamento nella lunghezza del muscolo provoca gli stessi fenomeni della fatica o della curarizzazione, sia che il muscolo venga "scorciato" (fisiologicamente, attraverso una variazione dell'angolo articolare), e quindi "indebolito" (Cafarelli, Bigland-Ritchie, 1979), sia che ad essere manipolate siano le forze richieste per supportare un oggetto, variando l'angolo a partire dal quale l'oggetto è sollevato, visto che quando la lunghezza della leva diminuisce, la forza del sollevamento diminuisce anch'essa (Davies, 1973, 1974). Questi esperimenti mettono in luce l'importanza dei fattori biomeccanici del sollevamento per la percezione del peso, fattori che verranno sottolineati in particolare da Turvey, e altri, nella "teoria inerziale" della swi e della percezione del peso in generale.

L'importanza dei fattori meccanici e dinamici riguardanti l'oggetto e il movimento esercitato dal braccio per sollevarlo e "sopporlo" assumono anche in questo modello per la swi un rilievo speciale.

Il modello dell'integrazione dell'informazione è una teoria più "periferica" rispetto alle precedenti: Anderson, 1970, 1972 propone che il peso attuale W e la dimensione attuale S diano luogo ai due valori scalari soggettivi s e w , in rapporto diretto con W e S (diciamo ad esempio che w è il valore scalare quando l'oggetto sollevato non è visto); w^* è la pesantezza attesa dal soggetto che ne ha valutato visivamente le dimensioni. La pesantezza di un oggetto visto è: $\eta = xw^* + (1-x)w$, dove x è un coefficiente di peso che varia tra 0 e 1. Se solo w è generato si ha percezione del peso, se solo w^* no. Birnbaum e Veit, 1974 indicano altri fattori oltre all'aspettativa come influenti per la swi, e suggeriscono che i valori scalari soggettivi dovuti all'aspettativa dipendano dalla correlazione soggettiva tra stimoli percepiti e variabili giudicate, per cui $w^* = r_{\sigma, \eta} \sigma$, dove $r_{\sigma, \eta}$ è la correlazione soggettiva tra la dimensione vista e la pesantezza sentita, e quello che più conta, dipende dalle esperienze passate, e quindi dall'attivazione di una memoria di compartimento in cui questa relazione è immagazzinata. Cross, Rotkin, 1975, che sviluppano il modello di Anderson, in particolare sottolineano che quella tra dimensione e peso è un'interazione e non un'illusione, poiché la pesantezza è una funzione sia del peso che della dimensione o volume. Non è richiesto l'intervento di alcun processo di livello superiore.

Flanagan, Beltzner (2000), raccoglie queste tre spiegazioni dell'illusione del peso rispetto alla dimensione in un unico gruppo caratterizzato dall'idea che l'illusione derivi da un disaccordo tra feedback sensoriale atteso e attuale rispetto al peso dell'oggetto. Il modello generale viene messo in relazione con studi più recenti a proposito del controllo della presa, quindi con studi centrati soprattutto sul l'aspetto motorio del compito, che mettono in luce alcuni aspetti della coordinazione sensorio motoria in compiti specifici come il sollevamento e la presa (grip) di oggetti.

Alcuni studi (Gordon, Forssberg, Johansson, Westling, 1991, 1991, 1991) sulla presa di precisione (precision grip) sembrano avallare il modello, dal momento che mostrano l'esistenza di processi di controllo anticipatorio del movimento e quindi predizioni da parte del soggetto del peso dell'oggetto. Quando l'oggetto è tenuto con la punta del pollice e dell'indice, è necessario aumentare la forza di presa per prevenire lo scivolamento; durante la fase di sollevamento, la forza per il sollevamento e quella per la presa crescono in parallelo fino ad un certo massimo, il quale dipende da processi feedforward o di controllo anticipatorio, per poi cadere anticipando la fine del sollevamento. Se le predizioni sul peso dell'oggetto sono sbagliate, l'abbandono del sollevamento avviene più presto o non avviene affatto, il che implica un cambiamento mediato da riflessi dell'output di forza, in tempi molto brevi. I fattori identificati come aventi un ruolo nella previsione per la forza delle dita include informazioni aptiche e visive a proposito della forma e della dimensione dell'oggetto, come già visto nella discussione precedente, ma anche informazioni visive sul peso dell'oggetto e la memoria sensoriomotoria immediata, acquisita durante sollevamenti precedenti del medesimo oggetto. Flanagan e Beltzner dimostrano che la memoria sensoriomotoria e le informazioni visive sulla forma dell'oggetto non hanno influenza sulla swi, inficiando in questo modo il modello generale del "confronto sensorio-motorio". Alla richiesta di esaminare gli oggetti di diverse dimensioni ma uguale peso prima del sollevamento, i soggetti dell'esperimento riportavano unanimemente l'aspettativa che il più grande fosse il più pesante; dopo una serie di 20 sollevamenti su coppie di oggetti tutti i partecipanti riportavano al contrario la sensazione che il più piccolo fosse il più pesante. La forza dell'illusione era altrettanto forte alla fine della serie di sollevamenti che all'inizio.

Nonostante questo, i soggetti facevano predizioni esatte della forza necessaria per sollevare gli stimoli: durante i sollevamenti ripetuti, il sistema motorio si adatta in modo che i cambiamenti anticipatori nella forza delle dita sono rapportati precisamente al peso dell'oggetto: all'inizio sbaglia la predizione, ma poi genera predizioni sensoriali accurate che permettono di generare le forze necessarie per il sollevamento. Questo indica che l'illusione non dipende da un disaccordo dovuto ad un errore sensomotorio. Il fatto che la forza della swi si mantenga costante, conferma che la swi è identica nel caso di presenza di errore sensomotorio, come in sua assenza.

Gli autori propongono allora un modello cognitivo/percettivo della swi. Il disaccordo non sarebbe al livello sensoriomotorio, ma ad un livello puramente cognitivo (di giudizio percettivo e non di controllo motorio): le predizioni sensoriomotorie e quelle cognitive rispetto al peso di un oggetto sarebbero ben separate (l'idea è supportata dalla letteratura di studi sulla visione, in cui si sostiene che l'informazione visiva è processata da vie neurali separate a seconda che l'informazione venga usata per controllare azioni o per fornire giudizi percettivi: Goodale et al., 1991). Dopo un certo numero di interazioni la memoria sensomotoria immediata guida le predizioni sulla forza da utilizzare (predizione motoria), indipendentemente dallo stimolo percettivo. Le persone continuano però a fare errori nella predizione percettiva ed è il contrasto di questa con la percezione attuale che dà luogo all'illusione. Quello che interessa agli autori è dunque rifiutare il confronto tra processi sensomotori e processi sensitivi all'origine dell'illusione, ma accettano il modello del disaccordo, e quindi l'idea che l'illusione sia un errore derivato da un conflitto tra informazioni. L'interesse di questa prospettiva risiede soprattutto nel differenziare l'entrata in gioco di diversi sistemi a seconda del compito in corso, motorio o puramente percettivo.

Swi. Il modello del tensore inerziale.

A partire dagli anni '80, piuttosto che il ruolo dell'aspettativa basata su conoscenza e esperienza passata, molti studi sulla swi enfatizzano il contributo primario di stimoli sensoriali afferenti rispetto alle informazioni efferenti (interpretazioni sensory-based). Questo tipo di approcci sono caratterizzati in generale da:

- enfaticizzazione della natura aptica della swi;
- rifiuto di spiegazioni che coinvolgono la cognizione;
- riconoscimento del ruolo centrale del movimento, ma non a livello del controllo centrale del movimento volontario, bensì delle modalità esplorative che la percezione attiva del peso mette in campo;
- quindi attenzione al movimento esplorativo come parte integrante della percezione aptica; e attenzione ai fattori biomeccanici dei movimenti esplorativi per rapporto allo spostamento degli oggetti così operato;
- interesse per realizzazioni applicative degli studi sulla percezione aptica.

Come gli approcci "centrali", anche quelli "periferici" devono tenere conto della componente motoria della swi e della percezione del peso in generale:

Given the data, it is obvious that a truly adequate theory of weight perception will have to incorporate the role of muscle activity: The present task, therefore, is to reconceptualize how such activity is involved." (Amazeen, Turvey, 1996)

Già nel 1894, Flounoy aveva mostrato coi suoi esperimenti che l'illusione è tale da perseverare anche quando venga comunicato ai soggetti che tutti gli oggetti hanno lo stesso peso. L'illusione sembra dunque in un certo senso impermeabile alla cognizione. Turvey si appoggia a Masin, Crestoni, (1988), già citato, per rifiutare le teorie dell'aspettativa cognitiva e su Lansing, Banzett (1993), per mettere in dubbio la fondatezza delle ricerche sul comando motorio centrale.

Ma è il modo in cui questa riconcettualizzazione avviene che ci interessa particolarmente perché illustra un modello motorio della percezione aptica in cui non c'è bisogno di fare ricorso a interventi cognitivi o interventi integrativi dei centri superiori per rendere conto del rapporto tra sistema percettivo e motricità. Questo è primario rispetto alla possibilità di estrarre informazioni cui il sistema percettivo aptico è sensibile.

Le procedure esplorative dell'oggetto sono parte integrante della possibilità di percepirne le dimensioni e l'orientamento, in quanto, in accordo con la teoria gibsoniana delle invarianti, il movimento permette di isolare gli elementi informativi che non cambiano nel tempo e di riferirsi a questi per la percezione. Compito dello psicologo della percezione diventa dunque quello di individuare le invarianti cui i diversi sistemi percettivi, in questo caso il sistema percettivo aptico, sono sensibili. Per questo motivo psicologi come M. Turvey, del Department of Psychology della University of Connecticut, e altri psicologi sperimentali, che propongono approcci ecologici e dinamici a varie questioni riguardanti la percezione aptica e le illusioni che la riguardano, si interessano in particolare al tatto dinamico, che Gibson aveva caratterizzato come quel sottosistema del sistema percettivo aptico in cui sono particolarmente rilevanti le modificazioni dei tessuti muscolari e tendinei. Il tatto dinamico è infatti quello in cui la mano o il braccio intero si muove tenendo un oggetto. La percezione del peso è paradigmatica del tatto dinamico perché l'oggetto è sollevato con la mano, o tenuto in essa mentre vengono compiuti dei movimenti di "soppesamento", i quali, come abbiamo già detto, migliorano la percezione del peso rispetto ad un approccio statico.

Per comodità chiameremo "modello del tensore inerziale", o "modello di Turvey", il quale ne è uno dei principali fattori, questo modo di affrontare la spiegazione non solo della swi e della percezione del peso, ma anche di altre dimensioni dell'oggetto, come lunghezza e spessore, e l'orientamento di questo rispetto alla mano o della mano rispetto all'oggetto. E' questo modello messo alla prova nella swi e in altre illusioni che ci indurrà a riconsiderare il ruolo della propriocezione per la esterocezione, ovvero il ruolo del senso muscolare per la percezione delle proprietà spaziali di estensione e orientamento degli "oggetti aptici".

L'esistenza di un'illusione del peso legata alla dimensione o volume dell'oggetto, permette di fare una considerazione importante riguardo alla percezione del peso: che la percezione del peso non è legata solo alla massa dell'oggetto, ma anche alla distribuzione di questa massa, e che il peso percepito varia in maniera complessa al variare della relazione tra massa e variazione della massa. Questi due fatti, unitamente alla considerazione sul miglioramento della valutazione del peso nel tatto

attivo (sollevare, alzare, soppesare), implicano che si debba ricercare una proprietà dello stimolo tale che: quantifica in modo complesso la relazione tra massa e distribuzione di massa, e è significativa nel contesto dell'azione di manipolare un oggetto. L'illusione offre dunque la possibilità di rintracciare (almeno alcune de) le variabili significative per il modello e di testare il modello stesso su dei fenomeni localizzabili, riproducibili e costanti. Turvey e Amazeen (1996) avanzano l'ipotesi che la proprietà significativa degli oggetti cui il sistema aptico è sensibile nella percezione del peso è il tensore inerziale relativo all'oggetto manipolato, ovvero la resistenza che l'oggetto fornisce alle forze rotazionali degli arti.

La spiegazione di Turvey e Amazeen (1996) rimonta al fatto che quando un oggetto viene maneggiato, i movimenti degli arti compiuti rispetto alle articolazioni sono tutti di natura rotazionale. Evidentemente il presupposto fondamentale è che i movimenti degli arti siano un elemento cruciale della percezione del peso, e che la swi sia dunque un'illusione del "tatto dinamico". La variabile interessante per la percezione del peso sarebbe in questo caso legata oltre che alla massa dell'oggetto, alla resistenza che questo oppone alle forze rotazionali associate col movimento degli arti.

L'inerzia rotazionale equivale appunto alla resistenza opposta dall'oggetto alla rotazione dell'arto ed è funzione della massa e della distribuzione della massa dell'oggetto stesso, dove la distribuzione della massa vale come volume. L'inerzia rotazionale è quantificata da un tensore che rappresenta la resistenza del corpo rigido all'accelerazione rotazionale rispetto al centro di rotazione O , e che è composto di 9 numeri: tre che quantificano i momenti dell'inerzia rispetto ai tre assi del sistema di coordinate tridimensionali (I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}), e sei che quantificano i prodotti dell'inerzia, siccome la matrice che rappresenta il tensore dell'inerzia è simmetrica, i numeri fuori dalla diagonale (prodotti dell'inerzia) si riducono a tre: I_{xy} , I_{yz} , I_{xz} . Un movimento tridimensionale presenta resistenze all'accelerazione rotazionale diverse rispetto ai tre assi su cui si svolge. Ogni forza di rotazione rispetto ad ogni asse fattorizza a sua volta in una forza tangente al movimento rotazionale e in una forza normale ad esso (centripeta), e quindi ci sono forze inerziali che resistono ad ambedue le componenti. Le componenti diagonali, o momenti dell'inerzia, della matrice si oppongono alle forze tangenziali rispetto ai tre assi; le componenti fuori dalla diagonale, o prodotti dell'inerzia, si oppongono alle componenti radiali (momento centrifugo).

Altre quantità meccaniche potrebbero essere ugualmente prese in considerazione, tali le coppie di forze, il moto angolare, l'energia cinetica, .. ma Solomon, Turvey (1988), e Solomon, Turvey, Burton (1989) hanno eliminato queste ipotesi sulla base dell'impossibilità di rintracciare in esse un valore che non vari col tempo e col movimento, ovvero un'invariante cui il sistema percettivo sarebbe sensibile.

Quello che è più interessante per il modello di Turvey, alla ricerca di invarianti percettive, è che è possibile identificare per il tensore inerziale I_{ij} dei valori indipendenti dal sistema di riferimento (eigenvalues o momenti principali dell'inerzia: I_1 , I_2 , I_3 , a seconda che si tratti della maggiore, intermedia o minore resistenza), e degli assi di rotazione per questi valori (eigenvectors), che sono gli assi rispetto ai quali la massa è distribuita simmetricamente e che costituiscono un sistema di coordinate non arbitrarie rispetto ad O .

Tipicamente i calcoli del tensore inerziale sono fatti rispetto ad un sistema di coordinate convenientemente scelto; per ogni scelta di un sistema di coordinate i sei numeri cambiano. I numeri mantengono però una relazione fissa tra di loro, anche quando il sistema di coordinate viene ruotato, per esempio di 40° rispetto ad un asse. I nuovi numeri ed i vecchi sono legati da una legge di trasformazione che indica che il tensore non è cambiato. Il tensore inerziale rispetto ad un dato punto di rotazione può infatti essere messo in una forma particolare, che è sempre la stessa indipendentemente dal sistema di coordinate. Questa forma invariante consiste dei soli momenti dell'inerzia, e in particolare di tre momenti speciali: il momento massimo e il momento minimo per ogni possibile asse che passi per il punto di rotazione, e un momento intermedio (momenti principali); i tre momenti principali sono definiti rispetto a tre assi speciali (assi principali), determinati ruotando il rettangolo del sistema di coordinate arbitrariamente scelto fino a trovare un orientamento per gli assi tale che: la massa dell'oggetto che cade in ogni quadrante, moltiplicata per il prodotto della distanza dai due assi che comprendono il quadrante, sia la stessa per il quadrante adiacente che condivide gli stessi assi. Poiché la resistenza alla forza centripeta in una direzione, è uguale a quella nella direzione opposta, i prodotti dell'inerzia scompaiono. Gli eigenvectors del tensore inerziale costituiscono il solo sistema di coordinate non arbitrario, e sono determinate solo dalla distribuzione della massa dell'oggetto rispetto al punto di rotazione. Si può dare una rappresentazione del tensore dell'inerzia attraverso un ellissoide (ellissoide dell'inerzia) che ha gli assi nelle direzioni degli eigenvectors; la distanza dal centro dell'ellissoide alla sua superficie, in ogni direzione, è inversamente proporzionale alla radice quadrata del momento dell'inerzia rispetto all'asse corrispondente.

Amazeen, Turvey (1996) compiono una serie di 6 esperimenti per dimostrare la loro ipotesi del ruolo degli eigenvalues nella percezione del peso e nella produzione della swi. Nei primi tre vengono variati i parametri dell'inerzia rotazionale di oggetti di uguale massa; gli esperimenti dimostrano che la percezione del peso varia non solo col variare del peso, ma anche col modo in cui questo peso è distribuito, ad esempio col variare della forma (attraverso spostamenti di anelli metallici posizionati sui bastoni che compongono gli stimoli) o la lunghezza dello stimolo, e che la spiegazione non può essere cercata nelle variazioni degli stati della muscolatura nel corso del movimento (le variazioni nella frequenza di sollevamento). La seconda serie di esperimenti tendono a valutare direttamente se la swi è funzione del tensore inerziale: vengono così creati degli oggetti in cui possono essere manipolati i tre eigenvalues, senza cambiare né la massa né il volume degli oggetti (si tratta di due bastoni di alluminio, uniti nel loro centro a 90° l'uno rispetto all'altro e rispetto ad un terzo bastone che serve da "maniglia"; dei dischi di metallo possono essere infilati in ognuno dei tre bastoni con posizioni diverse). Si vede così che, indipendentemente dal rimanere costanti della massa e della dimensione degli oggetti, la pesantezza percepita cambia al variare di I_3 (diminuisce al diminuire di I_3): l'illusione è una conseguenza della variazione specifica di I_{ij} . La dipendenza dell'illusione dal volume dell'oggetto si spiega in quanto cambiamenti nel volume dell'oggetto risultano in cambiamenti dei tre eigenvalues. La stessa cosa avviene per la massa: un aumento della massa dell'oggetto risulta in un aumento uniforme dei tre eigenvalues; così se si creano degli oggetti della stessa massa e volume ma con eigenvalues crescenti, ci si aspetta di ottenere un aumento nella pesantezza percepita. E' quello che in effetti accade nel quinto esperimento: l'aumento della pesantezza percepita associata all'aumento della massa degli oggetti è un prodotto di cambiamenti specifici in I_{ij} . L'illusione forma-peso descritta da Dresslar nel 1894, per cui gli oggetti tanto più la forma degli oggetti è compatta, tanto più aumenta la percezione del loro peso, è riportabile agli esperimenti 4, 5 e 6. Come fanno notare gli autori, questa nozione va contro

l'intuizione e la visione tradizionale che la percezione del peso dipende dalla massa degli oggetti, concezione che non è in grado di rendere conto della swi. Amazeen e Turvey si richiamano agli esperimenti di Davis (1973, 1974), in cui viene manipolata la distanza dell'oggetto dal punto di rotazione, il che fa variare l'inerzia rotazionale indipendentemente dalla massa. La capacità di spiegare l'illusione diviene dunque determinante per preferire una teoria della percezione aptica sulle altre. Ma in questo modo non si può più parlare veramente di illusione, in quanto la swi diventa un fenomeno interno alla percezione normale: un solo principio rende conto di tutte e due.

In altri termini, se la percezione del peso è specifica non della massa, come del resto la swi suggerisce, ma di una quantità complessa che è il tensore inerziale, il quale, lo ripetiamo, rappresenta la resistenza che un oggetto oppone a delle forze rotazionali, come quelle del manipolare e sollevare, ed è funzione di massa e distribuzione della massa (dimensione e forma dell'oggetto), la swi non sarebbe più un errore percettivo, come abbiamo visto per le spiegazioni "centrali". L'illusione segue naturalmente dalla dipendenza del tatto dinamico dall'inerzia rotazionale e in ultima analisi dal tipo di movimenti svolti necessariamente da questo sottosistema aptico. In particolare gli eigenvalues costituirebbero la quantità fisica che fornisce le costrizioni alla percezione del peso e che rende conto della variazione di questo nella swi.

"...the possibility now exists for a theory in which the size-weight illusion is grounded in the same principles as normal weight perception." (Amazeen, Turvey, 1996, 222)

Dare una spiegazione di questo genere della swi, periferica e basata su delle invarianti legate alle resistenze ai movimenti rotazionali degli arti, significa considerare la swi come un fenomeno puramente aptico, che non richiede l'intervento mediatore di altri sensi, come la vista, o di integrazioni centrali, come le immagini visive, o cognitive, come l'aspettativa. Questo ha delle conseguenze sullo statuto della percezione modale delle qualità degli oggetti, e sulle relazioni tra diverse modalità. Ci soffermeremo in seguito su questo argomento. Nell'ultimo esperimento, dopo aver dimostrato che la swi può essere generata da manipolazioni specifiche di I_{ij} , viene testato il ruolo svolto dalla visione dello stimolo sulla swi: viene usato lo stesso oggetto dell'esperimento, ma avvolto nella carta, in modo da mostrare ai soggetti l'identità delle dimensioni e del volume tra i diversi oggetti valutati. Benché gli oggetti siano chiaramente equivalenti nel loro volume, i risultati sono gli stessi dell'esperimento, con conseguente swi. Evidentemente la vista non è necessaria a produrre l'illusione, e questa non richiede considerazioni cognitive di integrazione della massa col volume, ma dipende solo dall'inerzia rotazionale attraverso l'esplorazione aptica.

Il modello del tensore inerziale alla prova con altre qualità: un modello per la percezione aptica.

Il modello del tensore inerziale fa parte di un approccio centrato sullo studio delle proprietà e delle capacità del tatto dinamico, approccio mutuato sui concetti gibsoniani di sistema percettivo come captore di informazioni invarianti, di divisione del sistema percettivo aptico in più sottosistemi in relazione al tipo di recettori messi in atto e alla presenza o meno di movimento esploratorio. Il tatto dinamico è appunto una delle sottodivisioni del tatto come sistema percettivo (sistema percettivo aptico); è un tatto "cinestetico" perché il suo elemento caratterizzante è costituito dall'entrata in azione dei recettori muscolari, tipicamente associati alla cinestesi e alla percezione della posizione delle membra del corpo. Nel tatto dinamico i muscoli sono allo stesso tempo produttori di movimento e organi di percezione.

"What sets dynamic or kinesthetic touch apart from other forms of touch is the prominent contribution of muscular effort and of its sensory consequences. As a grasped object is wielded, the receptors that interpenetrate muscular and tendinous tissues are mechanically stimulated: These mechanoreceptors, as they are called, respond to the stretching, compressing, twisting, and bending of muscles and tendons. Their collective response to the changing flux of mechanical energy is the primary (although not the exclusive) neural basis of dynamic touch." (Turvey, 1996, 1134)

Come abbiamo visto per la percezione del peso e la swi, percepire attraverso il tatto dinamico significa mettere in gioco una serie di movimenti che gli sono tipici: sollevare, soppesare, manipolare, routare; in generale, ogni volta che un oggetto è preso (grasped) e tenuto (wielded) in qualche modo, siamo in presenza di tatto dinamico, il più comune dunque tra le forme quotidiane di tatto.

Le informazioni che possono essere estratte grazie a questo tipo di percezione-movimento non sono limitate alla percezione del peso, ma coprono diverse grandezze di un oggetto tenuto in mano, come la sua lunghezza. Il modello di Turvey ha dunque il vantaggio di applicarsi a una serie di proprietà estensionali e spaziali dell'oggetto, a partire dal semplice presupposto comune che l'oggetto è tenuto in mano e messo in movimento in un modo che è tipico e dettato in maniera costrittiva dalla struttura fisica che lo muove.

I movimenti che l'oggetto tenuto in mano può subire avvengono infatti tutti a partire da rotazioni degli arti rispetto alle articolazioni, ed hanno quindi in comune di rientrare nel dominio di forze meccaniche di tipo rotazionale. E' a partire da questo quadro di riferimento che, nei vari esperimenti, in relazione alle diverse qualità percepite apticamente, vengono ricercate, secondo l'indicazione di Gibson, delle quantità fisiche proprie al sistema e tali da non cambiare nel corso del movimento, ovvero nel tempo e al variare della modalità con cui l'oggetto è mosso (invariante del flusso di energia dall'ambiente al sistema, flusso determinato tanto dalle proprietà ambientali che dal comportamento esploratorio del soggetto che percepisce, ad esempio l'oggetto tenuto e il modo in cui è tenuto).

L'inerzia rotazionale, come abbiamo già visto per il peso si presta particolarmente bene a svolgere il ruolo di invariante "preferita" del tatto dinamico (Solomon, 1988), in quanto:

- misura la resistenza dell'oggetto ai cambiamenti nel suo moto rotazionale; o meglio, le diverse resistenze di un oggetto alle rotazioni in diverse direzioni;
 - il tatto dinamico è sensibile all'inerzia rotazionale, come dimostrato da diversi esperimenti (Kreifeld, Chuang, 1979; Knowles, Sheridan, 1966; Solomon, Turvey, 1988);
- non cambia nel tempo e col movimento, visto che è riconducibile ad un sistema assoluto di riferimento costituito da tre assi principali e tre momenti in relazione con essi.

Altre grandezze percepite apticamente, a parte il peso, avrebbero dunque per base gli eigenvalues di I_{ij} , come la lunghezza e la larghezza, quindi in un certo modo la forma; allo stesso modo in cui gli eigenvectors di I_{ij} sarebbero alla base della percezione delle direzioni, come l'orientamento dell'oggetto rispetto alla mano, il punto in cui l'oggetto è tenuto, ma anche la posizione degli arti stessi, indipendentemente dall'oggetto. Vediamo più in dettaglio:

- Percezione della lunghezza di un oggetto tenuto in mano (Solomon, Turvey, 1988). Solomon e Turvey valutano la capacità di percepire apticamente la distanza raggiunta con un oggetto tenuto in mano, ovvero di valutare la lunghezza di un oggetto identificandone la fine. Dimostrano così che il sistema aptico è in grado, indipendentemente dalla vista, di percepire accuratamente le lunghezze di bastoni tenuti in mano e mossi rispetto al polso. Ma la lunghezza percepita è influenzata anche da altri parametri, oltre alla lunghezza fisica dell'oggetto. Come per la comprensione del peso, ci si basa su delle illusioni, che intervengono nella percezione della lunghezza nel momento in cui vengono fatti variare una serie di parametri, in questo caso: la distribuzione della massa per un punto di rotazione fissato, e il punto di rotazione per una distribuzione della massa fissata. Si vede che la lunghezza percepita cambia al variare degli eigenvalues: aumenta all'aumentare del maggiore dei momenti principali, e diminuisce all'aumentare del minore (essendo gli oggetti delle esperienze cilindrici e quindi simmetrici rispetto ad un asse, il momento intermedio tende a coincidere col maggiore o col minore, per cui non viene preso in considerazione). Conferme positive di questa dipendenza sono date in Pagano, Turvey (1993), Fitzpatrick, Carello, Turvey (1994), Chan (1995). Chan (1995) in particolare, mostra che la percezione della lunghezza non è funzione della sola lunghezza attuale di, poniamo, un bastone tenuto in mano, ma dipende anche dal diametro e dalla densità dell'oggetto stesso. E' dunque Chan a parlare esplicitamente di effetti illusori del diametro e della densità sulla lunghezza percepita. Illusione della densità-lunghezza: per bastoni della stessa lunghezza, quelli più densi sono percepiti come più lunghi. Illusione del diametro-lunghezza (dli), simile alla swi: nel manipolare oggetti di eguale momento maggiore dell'inerzia, bastoni di diametro maggiore sono percepiti come più corti. A questo proposito, Chan svolge inoltre una distinzione interessante tra fattori muscolari (la deformazione muscolare legata all'inerzia) e fattori geometrici della dli (la conoscenza geometrica del diametro del bastone) e vuole investigare se ad influenzare la percezione della lunghezza sia la forma della presa su un certo diametro o il diametro conosciuto. Per questo in uno dei suoi esperimenti l'informazione sul diametro del bastone è sentita dalla mano sinistra, indipendentemente dalla destra che tiene il bastone con una maniglia di diametri diversi. Sembra che sia i fattori (constraints) muscolari che quelli geometrici influenzino la lunghezza percepita, ovvero che questa possa dipendere oltre che dall'invariante fisica costituita dal momento maggiore dell'inerzia, sia dall'aumento di contrazione muscolare del polso quando un oggetto più largo è tenuto in mano, sia dalla conoscenza di questo stesso diametro. Questa contributo rimette in causa il ruolo della cognizione nella percezione aptica. L'esperimento di Chan indica in effetti che l'esperienza di altre parti del corpo (l'altra mano rispetto a quella che tiene l'oggetto, ad esempio), può venire integrata con quella della mano che percepisce attivamente, in un' unica percezione aptica della lunghezza. (Si vedano anche Burton, Turvey, 1990; Pagano, Fitzpatrick, Turvey, 1993; Solomon, Turvey, Burton, 1989)
- Percezione della larghezza di un oggetto tenuto in mano. Al contrario della lunghezza, la larghezza aumenta col minore degli eigenvalues e diminuisce con l'aumentare del maggiore (Turvey, Burton, Amazeen, Butwill, Carello, 1998; Chan, Carello, Turvey, 1990).
- Percezione della forma di un oggetto tenuto in mano (Burton, Turvey, Solomon, 1990). Vista la capacità del sistema tattile dinamico di percepire lunghezza e larghezza di un oggetto tenuto in mano, e che questa capacità è spiegata in base alla dipendenza della percezione di queste dimensioni dalla sensibilità ai momenti principali dell'inerzia dell'oggetto, è presumibile che anche la forma di oggetti solidi tenuti per una sorta di bastone-maniglia risponda alle stesse caratteristiche, ovvero che sia appannaggio del sistema tattile dinamico e che dipenda dalle medesime invarianti. Oggetti di forme diverse offrono resistenze diverse alla rotazione, in relazione ai principali momenti dell'inerzia: una forma, di una certa dimensione, è associata ad una triade particolare di eigenvalues, ed una forma, per ogni dimensione, è associata ad una relazione con i tre eigenvalues che è costante attraverso le variazioni di dimensione. Per questo c'è bisogno di una quantità che rimanga costante indipendentemente dalle variazioni di dimensione, e che sia capace di rappresentare la relazione tra i tre momenti principali dell'inerzia (o meglio, due dei principali momenti dell'inerzia, in quanto, dato che gli esperimenti sono condotti con forme che presentano simmetrie, come cubi, eccetera, due dei momenti sono identici). Gli autori suggeriscono l'indice inerziale dell'oggetto, ovvero il quoziente del più grande e del più piccolo dei momenti dell'inerzia principali: esso fornisce in questo modo la misura della resistenza all'accelerazione rotazionale intorno ad un asse, relativa all'accelerazione rotazionale rispetto ad un altro asse. Solomon, Turvey (1990) si appoggiano alla descrizione del tatto dinamico come un sistema intelligente capace di mettere in moto azioni esplorative diverse per diversi compiti percettivi, e di percepire, sebbene in modo non altrettanto soddisfacente che la vista, la forma di oggetti, anche in seguito ad una brevissima interazione con essi (si vedano Lederman, Klatzky, 1997; Loomis, Lederman, 1986; Lederman, Klatzky, 1987). Poiché la percezione della forma attraverso il tatto dinamico ha poco a che fare con la presenza di proprietà geometriche come gli spigoli, le facce, eccetera, è evidente che questo non saprà riconoscere se un oggetto è rotondo o quadrato, ovvero non avrà accesso a proprietà cui sono sensibili la vista e il tatto cutaneo, e che riguardano le superfici degli oggetti. La forma percepibile al tatto dinamico è una proprietà più pervasiva dell'oggetto, in opposizione a proprietà più locali come appunto i vertici e le facce. Può quindi risultare particolarmente utile in casi in cui si richieda una percezione della forma indipendente dalla superficie dell'oggetto: ad esempio nel caso di parallelepipedi che si differenziano per la larghezza della base, il tatto dinamico potrebbe essere più informativo di quello cutaneo e della vista.
- Percezione dell'orientamento dell'oggetto rispetto alla mano e della mano rispetto all'oggetto (in che punto l'oggetto è tenuto). Turvey, Burton, Pagano, Solomon, Runeson (1992), Pagano, Turvey (1992), Pagano, Kinsella-Shaw, Cassidy, Turvey (1994). Nel caso della percezione della presa di un oggetto (come in un bastone tenuto in mano e

afferrato ad una certa altezza), entrano in causa anche i prodotti dell'inerzia e gli eigenvectors che risultano dopo la trasformazione degli assi; gli eigenvectors riflettono implicitamente la grandezza e il segno dei prodotti dell'inerzia, sembrano anzi rivestire un ruolo dominante nell'abilità expropriocettiva di percepire dove un bastone è afferrato.

- Percezione selettiva di parti dell'oggetto con orientamenti diversi. Vengono fatti entrare in causa modelli meccanici più complessi che comprendono, oltre all'inerzia rotazionale, gli spinori, in quanto si tratta di rappresentare combinazioni di rotazioni. Turvey, Carello, Fitzpatrick, Pagano, Kadar (1996). Viene ipotizzato che, in aggiunta a I_{ij} , ci sia un'altra quantità invariante rispetto alle forze e al movimento che variano nel tempo, e che questa quantità aggiuntiva sia lo spinore che rappresenta le due rotazioni orientate dell'oggetto complesso (ad esempio un oggetto che presenta due parti separate, le quali si dipartono dal punto di rotazione verso direzioni diverse), in rapporto ad un centro di rotazione fissato nel polso.

Gli spinori consistono di quattro componenti: una componente scalare, che corrisponde all'angolo di rotazione, e tre coefficienti per i bivettori, che sono dei vettori in uno spazio bidimensionale. Per ogni rotazione fisica, ci sono 2 spinori: uno specifica una rotazione verso una direzione rispetto ad un asse particolare, con uno specifico numero di gradi (es.: 10°); l'altro, il suo negativo, specifica la rotazione in senso opposto con un numero complementare di gradi (350).

- Percezione della posizione delle parti del corpo. (Pagano, Turvey, 1995; Pagano, 1993; Pagano, Garrett, Turvey, 1996) Risiede qui uno dei principali motivi di interesse, a nostro parere, del modello del tensore inerziale. Turvey e i suoi colleghi propongono infatti di considerare la percezione tattile degli oggetti e quella delle parti del corpo come un'unica forma di percezione, basata sul fatto che in ambedue i casi ad essere rilevante è la dinamica rotazionale dei segmenti del corpo percepita attraverso il tatto dinamico. Gli oggetti manipolati non sarebbero in questa accezione che delle estensioni degli arti. Attraverso lo studio della percezione delle loro qualità estensionali e spaziali sarebbe dunque solo più evidente ciò che è vero per le membra del corpo in assenza di estensioni. La percezione della direzione delle membra del corpo dipenderebbe dagli eigenvectors del segmento considerato rispetto ad un certo centro della rotazione.

Il modello del tensore inerziale presenta alcuni problemi, che in realtà, nell'approccio di Turvey sono due occasioni per riaffermare il fatto che la percezione si basa su invarianti:

- Problema dell'ambiguità. In primo luogo, la descrizione attraverso il tensore inerziale di una qualunque dimensione è ambigua, mentre la percezione che ne abbiamo non lo è. Per ogni dato tensore ci sono infatti molte lunghezze, molte larghezze, insomma molti oggetti, che riempiono la stessa descrizione. Al contrario, quando percepiamo la lunghezza di un bastone, non pensiamo: Potrebbe essere tale ma potrebbe anche essere tal altro. Le persone sentono una certa inerzia rotazionale come una sola e definita estensione, e non come un ventaglio di possibilità. Inoltre questa percezione è adeguata all'oggetto fisico percepito. La stessa cosa vale per tutte le altre qualità percepite, come la forma, anche se questa è identificata dalla relazione tra le tre eigenvalues, una tripletta qualunque identifica infinite combinazioni di forma. Turvey tiene molto a che il suo modello del tensore inerziale non sia "inquinato" con integrazioni a partire da inferenze o altre considerazioni cognitive fatte a partire dai dati forniti dalla percezione. Suggestisce quindi che vi siano nel sistema aptico costrizioni per lo sfruttamento dell'inerzia, tali da superare l'indeterminatezza matematica (Burton, Turvey, Salomon, 1990)

- Problema della costanza. In secondo luogo, l'inerzia rotazionale di un oggetto cresce col quadrato della sua distanza dal punto di rotazione: essa dovrebbe dunque essere maggiore per un oggetto tenuto in mano quando il movimento avviene rispetto al gomito o addirittura alla spalla piuttosto che rispetto al polso, come avviene tipicamente negli esperimenti condotti dagli autori. Eppure le dimensioni e l'orientamento percepito di un oggetto non variano nel corso dei normali movimenti di manipolazioni, i quali, nell'esperienza quotidiana coinvolgono tutte e tre le grandi articolazioni dell'arto superiore, e solitamente in contemporanea. Fitzpatrick, P., Turvey, M. T. (1993) hanno infatti dimostrato che nella manipolazione libera, come in quella rispetto alla spalla e al gomito, la percezione è la stessa che nel caso che i movimenti siano limitati al polso. Anche in questa occasione naturalmente, gli autori rifiutano il ricorso a logiche computazionali per il problema della costanza percettiva, che non riguarda solo il tatto aptico o il tatto in generale, ma costituisce una parte importante del dibattito sulla percezione: come può la percezione, affetta com'è dal movimento, mantenere una costanza di dimensioni nei suoi percetti? La risposta legata al modello del tensore inerziale, ma che ha le sue radici nella teoria gibsoniana, è che il cervello è accordato alle invarianze contenute nel flusso di energia e nei segnali neurali, e quindi, in un certo modo, tende ad ignorare ciò che cambia nel corso del movimento, per ritenere ciò che rimane costante. L'inerzia calcolata al polso resterebbe come punto di riferimento indipendentemente dal coinvolgimento delle altre articolazioni, in quanto il tensore rispetto al polso è il solo che non varia in funzione del tempo, mentre il tensore del gomito e quello della spalla variano in funzione del tempo. Bisogna infatti considerare che in ogni movimento sono coinvolte le tre articolazioni; ora, nel movimento del polso la distanza dell'oggetto, e quindi la distribuzione della sua massa, varia di momento in momento rispetto al centro di rotazione del gomito e dal centro di rotazione della spalla, ma non rispetto al centro di rotazione del polso: l'oggetto e la mano rimangono sempre ad una distanza fissa. E' dunque il tensore calcolato rispetto a quest'ultimo che rimane costante. Questa constatazione è di particolare importanza per gli autori del modello, perché testimonia che, indipendentemente dal numero di articolazioni coinvolte, dalla complessità del movimento messo in atto, e dalla flessibilità dell'azione compiuta, c'è sempre una costante nel sistema dinamico.

Discussione del modello del tensore inerziale: un modello teorico per la percezione-azione.

Nel modello del tensore inerziale, una premessa basilare è che il corpo umano, per quel che concerne il tatto dinamico, è composto di parti cilindriche, e che il braccio dell'uomo è costituito da un certo numero di segmenti cilindrici. Molte delle azioni "abili" che coinvolgono movimenti dell'intero braccio richiedono uno sfruttamento estremamente variato

delle possibilità dinamiche aperte dalla sua struttura di cilindri articolati, e una registrazione continua dell'estensione, dell'orientamento, della posizione di un oggetto tenuto in mano, al fine di poter gestire la grandezza, il timing e i patterns delle forze muscolari. Tutta una serie di sports possono servire da esempi di queste attività. Tipicamente però, il ruolo del tatto è passato in secondo piano nello studio di queste attività, rispetto al ruolo della vista come agente del controllo del movimento e della coordinazione. Il braccio rimaneva l'autore del movimento, la vista il responsabile del lato percettivo. Il tatto dinamico, per come viene presentato all'interno di questo modello, permette di riconsiderare il tatto come agente di movimento e agente percettivo insieme perché dà la possibilità di fornire una descrizione che tiene conto insieme della grande flessibilità dei movimenti umani e della condizione del braccio come strumento percettivo. L'unità è fornita dalla considerazione dinamica del sistema di azione-percezione e dall'identificazione di costanti (in specifico, il tensore inerziale) che rimangono tali indipendentemente dal numero di articolazioni coinvolte nel movimento, quindi dalla sua complessità e flessibilità. Non solo, queste invarianti si rivelano tali solo grazie al fatto che un movimento è eseguito, che c'è una modificazione dei tessuti, per cui il movimento è fondamentale per la percezione, e non una complicazione da risolvere.

Usare il braccio come uno strumento percettivo per le proprietà metriche e spaziali degli oggetti tenuti in mano sarebbe troppo complesso se le misure che esso compie dipendessero da movimenti e forze che variano nel tempo. Il modello del tensore inerziale, basandosi su delle costanti, semplifica enormemente la computazione richiesta, e indica il braccio come uno strumento percettivo intelligente, il quale capitalizza gli aspetti del complesso gioco di forze nei suoi tessuti che non cambiano e che si connettono fisicamente con la struttura spaziale dell'oggetto tenuto in mano.

I modelli periferici come quello del tensore inerziale hanno dunque il valore positivo di concepire il sistema aptico, e il sottosistema del tatto dinamico in particolare, a) come uno strumento intelligente (smart) di azione-percezione, adatto alla misurazione di certe caratteristiche dell'oggetto posto in un contesto dinamico in relazione al braccio del soggetto, b) il cui funzionamento può essere investigato a partire da principi legiferanti.

Come sostenuto agli autori, il risultato singolare più importante delle ricerche di Turvey e altri sul tatto dinamico (sollevare, manipolare, palpare, misurare con oggetti), "is that perception is a function of quantities that are invariant over the variations of forces and motions. Experiments have demonstrated that the variable forces and variable motions of dynamic touching reveal the unchanging parameters such as I_{ij} that couple these variations." (Turvey, Carello, Fitzpatrick, Pagano, Kadar, 1996, 1118)

Rintracciare quantità individuabili nella percezione tattile dinamica e nel controllo motorio permette di fondare una "neurogeometria" dei sistemi di percezione-azione che sfrutta i benefici teorici e pratici di un approccio alle proprietà caratteristiche di questi sistemi basato su leggi.

L'esistenza di leggi individuabili è garanzia di riproducibilità, e rende il modello particolarmente adatto a dei test in ambito applicativo. Il modello ha quindi dei vantaggi pratici, oltre al valore teorico di permettere di trarre alcune considerazioni, che cercheremo di sviluppare, con l'aiuto di altri modelli, nei paragrafi che seguono, e che per il momento ci limitiamo ad introdurre (saranno sviluppate nella parte terza):

1) Tutte quelle che veniamo di citare sono, per gli autori, capacità proprie del sistema percettivo aptico, specificamente del tatto dinamico. In questo modo il tatto si rivela un sistema percettivo molto più "abile" di quanto di solito non siamo disposti a concedere rispetto alla vista, rivela insomma di essere un sistema esperto, almeno per alcune categorie di percetti. Questi comprendono non solo la pesantezza, l'estensione, e in un certo modo la forma degli oggetti, ma anche il loro orientamento nello spazio. Dalla "scoperta" di queste capacità derivano alcune considerazioni:

- l'estensione degli oggetti percepita col tatto dinamico non corrisponde esattamente all'estensione dell'oggetto fisico, in quanto è funzione del tensore inerziale;
- la sensibilità all'inerzia rotazionale è la base anche delle impressioni spaziali che riceviamo nel tenere in mano degli oggetti;
- l'esistenza di una percezione dello spazio legata all'oggetto manipolato, ovvero di uno spazio per il quale sono fondamentali le relazioni del soggetto con un oggetto, indica l'esistenza di un spazio tattile egocentrico, perché basato sulle sensazioni muscolari propriocettive, ovvero di uno spazio cinestesico, spazio messo in gioco dal movimento del soggetto. Questo spazio non è però correttamente egocentrico o cinestesico in quanto non è, come lo spazio del ballerino, uno spazio che dipende dal semplice movimento del soggetto, ma ha bisogno dell'esistenza di oggetti, i quali sono messi in moto.
- poiché il tensore inerziale è una "proprietà" del tatto dinamico, si può parlare di qualità tattili dell'oggetto, per rapporto a delle qualità visive, come nel caso di una forma tattile in opposizione alla forma visiva dell'oggetto, eccetera. Ma da qui si può forse inferire l'esistenza di oggetti tattili, oggetti visivi e così via. E' evidente che si pone con forza la questione di Molyneux, o del rapporto tra i sensi.

2) Il modello si dimostra valido per più proprietà degli oggetti percepite apticamente, e quindi mette in evidenza una proprietà generale della percezione aptica, almeno del tatto dinamico:

- quando il tatto esplora attivamente l'oggetto con movimenti tesi a valutarne le proprietà dimensionali, spaziali e di orientamento, assumono un'importanza cruciale i movimenti svolti a questo scopo; non nel senso dei programmi d'azione messi in atto, ma nel senso della struttura biomeccanica e dinamica del corpo stesso in quanto costituito di cilindri che ruotano secondo modalità precise uno rispetto all'altro. E' sulla base di questo tipo di struttura fisica che un oggetto, che diventa in questo modo un'appendice di uno di questi cilindri, entra in movimento rispetto al corpo, e viceversa. Il tipo di movimento che coinvolge allora oggetto e, ad esempio, braccio, è una rotazione rispetto ad un certo asse. E' dunque sulla base delle leggi della meccanica delle rotazioni che il sistema può e deve essere compreso. Il tensore inerziale costituisce una quantità che si rivela significativa per la comprensione del sistema braccio-movimento-oggetto;
- d'altra parte, la spiegazione in termini biomeccanici della percezione aptica, si accompagna ad una rivalutazione del ruolo della componente sensoriale muscolare e tendinea: sono i tessuti dei muscoli e dei tendini a subire la

deformazione che dà luogo alla percezione del peso, della lunghezza, dello spessore, dell'orientamento, ecc. dell'oggetto tenuto in mano, e ad essere sensibili al tensore dell'inerzia in quanto quantità invariante nel tempo rispetto alle altre quantità come le forze mentre il braccio si muove.

In realtà quello che pone più problemi in questo modello è il proposito, di origine gibsoniana, di "disentangle the act of perceiving from the variegated and individuated neural processes of the sensory organs." (Solomon, Turvey, 1988, 404: V. anche: Turvey, Shaw, reed, Mace, 1981, per una trattazione più ampia di questo problema).

Ci chiediamo se sia produttivo rinunciare alla "descrizione neurale" dei processi percettivi, così come di quelli psicologici. Una rinuncia simile era già stata annunciata in un certo modo da Wittgenstein, nelle diverse osservazioni che ha dedicato alla filosofia della psicologia a partire dal 1946. Wittgenstein sosteneva la non necessità di questo ricorso (nella doppia accezione per cui nessuna necessità è provata nella causazione neurale di certi stati psicologici, e nel senso in cui il ricorso a stati interni non appare necessariamente utile). Ma Wittgenstein aveva ben limitato il suo campo di ricerca ad un approccio grammaticale, ovvero di un approccio ai concetti psicologici, teso a descriverne il funzionamento pubblico e non a dare loro una spiegazione naturale, fisica. Non si può dire lo stesso dell'approccio di Gibson, come di quello di Turvey e dei suoi colleghi, i quali tutti ricercano una spiegazione, delle cause naturali, per la percezione. Quello del rifiuto della componente neurale ci sembra dunque un pregiudizio non giustificato in questo caso. La separazione tra realismo da una parte (attenzione alle caratteristiche fisiche dell'oggetto, come nel caso del tensore dell'inerzia), e costruttivismo dall'altra (teso piuttosto a mettere in luce il ruolo attivo della componente meccanica e neurale degli organi della percezione), ci sembra debole, dal momento che modelli "periferici" e "realisti" come quello del tensore inerziale danno un'importanza maggiore al ruolo dell'azione e dell'intenzionalità nella percezione, nonché alla deformazione che le forze fisiche impongono a strutture neurali come i recettori contenuti in muscoli e tendini.

Gli elementi importanti per comprendere la percezione aptica umana sono di carattere biomeccanico, ma anche nervoso, nel senso del circuito che collega la contrazione muscolare alla percezione della deformazione, e quindi, attraverso la componente muscolare, sensibilità e movimento. In effetti, anche gli autori (v. Pagano, Fitzpatrick, Turvey, 1993) riconoscono che le loro descrizioni coprono la parte psicologica della questione del tatto dinamico, la quale comprende anche una parte fisiologica. Le basi neurali del tatto dinamico sono da ricercarsi in primo luogo negli afferenti dei muscoli e dei tendini, i quali proiettano sia alla corteccia somatosensoriale che alla corteccia motoria. Per completare il modello del tensore inerziale serve dunque un modello per comprendere come un pattern di afferenza e il tensore inerziale rispetto al centro di rotazione del polso possano funzionare in modo equivalente nel creare costrizioni alla percezione. Gli autori suggeriscono che vi sia una legge di trasformazione che lega il pattern di deformazione invariante dei muscoli e tendini e la dinamica rotazionale espressa nel tensore inerziale rispetto al polso; allo stesso modo, l'invariante dell'inerzia rotazionale potrà essere reso con la quantificazione del pattern di afferenza determinato dalla deformazione dei tendini e dei muscoli. Si avranno così equivalenti dell'invariante fisica dell'inerzia rotazionale in tre sistemi di coordinate naturali (alla base di questo ragionamento c'è il fatto che la trasformazione è la proprietà chiave di un tensore, per il quale le quantità che lo compongono in un sistema di coordinate sono legate alle quantità in un altro sistema di coordinate) In conclusione: "The neural substrate of the haptic perceptual system resonates to the invariants of its own dynamics." (Pagano, Fitzpatrick, Turvey, 1993, 53).

Un'altra difficoltà per il modello, è rappresentata dalla cosiddetta illusione della palla da golf. Ricordiamo che una delle preoccupazioni principali di Turvey e colleghi è quella di evitare il ricorso ad ogni spiegazione di tipo top-down a favore di un'interpretazione tutta basata sulla sensazione. Ricordiamo anche che l'altra grande tradizione esplicativa della swi in particolare, era al contrario basata sulla conoscenza e l'esperienza passata. Ellis, Lederman (1998) riportano il caso di un'illusione di peso che è difficilmente spiegabile senza far entrare in causa la componente cognitiva. I giocatori di golf, che si aspettano una differenza di peso tra palle diverse (palle da gioco e palle da allenamento), giudicano le palle di prova (che pesano 7 g) e quelle vere da golf (45 g) diversamente quanto al peso, cosa che i non giocatori di golf dell'esperimento non fanno; inoltre, tra i giocatori di golf, quelli che si aspettano che i pesi di due palle di tipo diverso siano particolarmente discrepanti, riportano l'illusione più forte dopo averle sollevate. Ora, non c'è nessuno stimolo sensoriale che differenzi le palle da golf di tipo diverso e che possa da solo segnalare una differenza di peso. Per questo gli autori suggeriscono che vi sia una componente top-down nella percezione del peso, responsabile di questa illusione e basata sull'esperienza con oggetti specifici. Sebbene larga parte delle illusioni aptiche che riguardano l'estensione, il peso e l'orientamento di un oggetto possano essere spiegate senza il ricorso a interventi top-down, l'intervento cognitivo non può dunque essere escluso a priori come non avente nessun ruolo o nessuna comunicazione rispetto ai processi "più bassi" della percezione. L'illusione della palla da golf ci sembra particolarmente importante per sottolineare la parzialità dei richiami a modelli univoci, "solo sensoriali" o "solo cognitivi". Il fatto che sia possibile che un compito percettivo sia svolto senza ricorso a contributi cognitivi, non implica che cognizione e percezione agiscano su binari separati e successivi, che i processi percettivi non possano essere "contaminati" da aspettative e pre-cognizioni, o che queste si combinino con i dati percettivi solo alla fine del processo di elaborazione dello stimolo. Vedremo nella terza parte che il funzionamento del sistema percettivo aptico o del tatto dinamico, non può esaltare il ruolo del "senso muscolare" senza considerare che i recettori che gli sono propri sono costantemente sintonizzati dall'alto alla particolare situazione che il sistema percettivo-motorio si trova ad affrontare di volta in volta. Resta da spiegare il fatto che le illusioni che abbiamo prese in considerazione, in particolare la swi sono impermeabili alla cognizione nel senso che il fatto di conoscere il peso (eguale) degli oggetti sperimentali non limita in alcun modo il presentarsi dell'illusione. Questo fa pensare che le interazioni tra processi cognitivi e processi percettivi siano selettive, e spinge ulteriormente a trovare un'altrantiva al modello della completa segregazione così come a quello della determinazione cognitiva o teorica della percezione.

Discussione: Un modello funzionale a una molteplicità di applicazioni pratiche.

Gli effetti del modello del tensore inerziale possono essere molteplici a livello applicativo, quando si sia interessati a sistemi percettivi e motori che si basano su

Gli studi sulla swi suggeriscono che il volume costituisce un fattore importante nella considerazione del peso e della forza impiegata, e quindi possono trovare applicazioni in ambito ergonomico, nella concezione di macchine manipolate dall'uomo per il sollevamento di oggetti. Ma possono essere importanti anche nella definizione della strategia di un robot che debba sollevare un oggetto di massa sconosciuta. O nella manipolazione virtuale di oggetti di vario genere.

Allo stesso modo, indicando leggi specifiche di ordine fisico, incluse nella dinamica rotazionale dei segmenti che compongono il sistema braccio-oggetto, gli altri studi di Turvey e dei suoi colleghi sulla percezione dell'estensione e dell'orientamento di un oggetto tenuto in mano possono risultare interessanti per chi debba programmare o costruire sistemi simili a quello del braccio umano impegnato contemporaneamente nel movimento e nella percezione dell'oggetto.

Un altro effetto degli studi riportati in questo capitolo riguarda anche la possibilità di un'alternativa aptica nella percezione delle forme. Come abbiamo visto, tipicamente l'identificazione delle forme viene basata più sulle informazioni geometriche che su quelle di forza. La possibilità di percepire forme attraverso il tatto dinamico, indipendentemente dagli stimoli tattili cutanei, più legati alla geometria di superficie dell'oggetto, è in accordo con studi recenti che indicano che è possibile identificare e localizzare strutture di forma sulla base di stimoli di forza, indipendentemente dalla geometria di superficie. In Robles-De-La-Torre, Hayward (2001) i soggetti degli esperimenti sono confrontati a tre tipi di forme: una superficie piana, un buco e un dosso; un dispositivo aptico force-feedback fornisce stimoli che producono le stesse forme, virtuali; le forme virtuali, basate sulla percezione di forze, e quelle "reali", basate sulla percezione della geometria, vengono testate separatamente e in congiunzione una con l'altra, in modo da creare un conflitto, ad esempio, tra un "dosso reale" e un "buco virtuale". La combinazione di stimoli di quest'ultimo genere tende a produrre percezioni in disaccordo con lo stimolo fisico, e suggerisce che l'informazione legata alla forza può superare l'informazione geometrica nel determinare la percezione della forma nel tatto attivo.

Discussione: Qualche riflessione sul ruolo dell'illusione nel modello del tensore inerziale.

Se è vero che il modello di Turvey vale per più proprietà e non nasce solo dalla considerazione delle illusioni nella percezione aptica, è vero anche che un'illusione come la swi o le illusioni legate all'orizzontale e alla verticale (h-vi) costituiscono un banco di prova importante per valutare le teorie, ma soprattutto mettono in evidenza le variabili in gioco nella percezione di una determinata qualità dell'oggetto. Il modello utilizza le illusioni come banco di prova ideale. Per ogni proprietà del sistema aptico, come la percezione della lunghezza, viene messo in luce che il cambiamento di certi parametri, altri rispetto alla lunghezza fisica dell'oggetto, influenzano la lunghezza percepita. In questo modo, la massa dell'oggetto, il suo diametro, creano delle illusioni analoghe alla swi. In realtà all'interno del modello i fenomeni noti come illusione della dimensione-peso, dell'orizzontale-verticale, ecc. non sono più delle vere e proprie illusioni, nel senso di errori percettivi, ma dei fenomeni propri alla percezione normale delle qualità del peso o della direzione delle linee, o meglio, propri del movimento svolto nella percezione. E' perché la percezione del peso dipende dalla distribuzione della massa dell'oggetto e dalla resistenza che questo oppone al movimento che lo solleva e lo maneggia, che si verificano illusioni che non sono altro che la messa in evidenza della dipendenza della pesantezza percepita da quantità fisiche che tengono conto di tutti questi fattori in causa, come gli eigenvalues del tensore inerziale.

Nel modello del tensore inerziale inoltre la swi e altre illusioni si sono rivelate non essere vere "illusioni" ma fenomeni che dipendono dagli stessi principi della percezione "normale". Il loro essere considerate illusioni, nel senso di errori, frutto di conflitti, eccetera, dipende da un disaccordo tra quello che il soggetto che percepisce misura nella sua percezione, e quello che lo sperimentatore misura della percezione del soggetto. Il modello del tensore inerziale mostra che quando lo sperimentatore si accorda alla metrica del soggetto che percepisce, la teoria dell'illusione diventa continua con la teoria della percezione. La swi è un'illusione nella misura in cui la massa è considerata la quantità specifica da cui dipende la percezione del peso, ma non è più tale quando il quadro di riferimento significativo diventa quello della meccanica rotazionale.

Quando sospettiamo che il sistema percettivo sia in errore possiamo dunque pensare che invece siamo noi a sbagliare di metrica, e che dobbiamo cercare, con la guida delle caratteristiche stesse dell'illusione, una quantità più significativa.

BIBLIOGRAFIA DELLA SECONDA PARTE

Amazeen, E.L., Turvey, M.T. (1996), Weight perception and the haptic size weight illusion are functions of the inertia tensor, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22 (1): 213-232.

Anderson, N. H. (1970), Averaging model applied to size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 8: 1-4.

Anderson, N. H. (1972), Cross-task validation of functional measurement, *Perception & Psychophysics*, 12: 389-395.

- Angel, R. W. (1980), Barognosis in a patient with hemiataxia, *Annals of neurology*, 7, 73-77.
- Bell, C. (1826), On the nervous circe which connects the voluntary muscles with the brain, *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 116, 163-173.
- Bell, C. (1834), *The hand: Its mechanism and vital endowments as evincing design*, London, Pickering.
- Birnbaum, M. H., Koebernick, M., Veit, C. T. (1974), Subjective correlation and the size-numerosity illusion, *Journal of experimental psychology*, 102, 537-539.
- Birnbaum, M. H., Veit, C. T. (1973), Judgmental illusions produced by by contrast with expectancy, *Perception & Psychophysics*, 13, 149-152.
- Birnbaum, M. H., Veit, C. T. (1974), Scale-free tests of an additive model for the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 16, 276-282.
- Brodie, E. E., Ross, H. E. (1984), Sensorimotor mechanisms in weight discrimination, *Perception & Psychophysics*, 36, 477-481.
- Burton, G., Turvey, M. T. (1990), Perceiving the lengths of rods that are held but not wielded, *Ecological psychology*, 2, 295-324.
- Burton, G., Turvey, M. T., Solomon, H. Y. (1990), Can shape be perceived by dynamic touch? *Perception and psychophysics*, 48, 477-487.
- Cafarelli, E. W., Bigland-Ritchie, R. (1979), Sensation of static force in muscles of different length, *Experimental neurology*, 65, 511-525.
- Cain, W. S., Stevens, J. C. (1971), Effort in sustained and and phasic handgrip contractions, *American Journal of psychology*, 84, 52-65.
- Cambell, E. J. M., Edwards, R. H. T., Hill, D. H., Jones, D. A., Sykes, M. K. (1976), Perception of effort during partial curarization, *Journal of physiology*, 263, 186-187.
- Chan, T. C. (1995), The effect of density and diameter on haptic perception of rod-length, *Perception & Psychophysics*, 57, 778-786.
- Chan, T., Carello, C., & Turvey, M. T. (1990), Perceiving object width by grasping, *Ecological Psychology*, 2, 1-35.
- Charpentier, A (1891), Analyse expérimentale de quelques éléments de la sensation de poids, *Archives de physiologie normale et pathologique*, 3: 122-135.
- Cross, D. V., Rotkin, L. (1975), The relation between size and apparent heaviness, *Perception & Psychophysics*, 18: 79-87.
- Davis, C. M. (1973), Mechanical advantage in the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 13, 238-240.
- Davis, C. M. (1974), The role of effective lever-length in the perception of lifted weight, *Perception & Psychophysics*, 16, 67-69.
- Davis, C. M., Brickett, P. (1977), The role of preparatory muscle tension in the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 22 (3): 262-264.
- Davis, C. M., Roberts, W. (1976), Lifting movements in the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 20 (1): 33-36.
- Dresslar, F. B. (1894), Studies on the psychology of touch, *American journal of psychology*, 6, 313-368.
- Eklund, G. (1972), Position sense and the state of contraction; the effects of vibration, *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 35: 606-611.
- Ellis, R. R., Lederman, S. J. (1993), The role of haptic versus visual volume cues in the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 53 (3): 315-324.
- Ellis, R. R., Lederman, S. J. (1998), The "golf-ball" illusion: Evidence for top-down processing in weight perception, *Perception*, 27(2), 193-202.
- Ellis, R. R., Lederman, S. J. (2000), Anticipatory effects underlie the golf-ball illusion, *Golf Research News, World Scientific Congress of Golf Trust*, 1(3), 18-23.

- Fitzpatrick, P., Carello, C., Turvey, T. M. (1994), Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense", *Neuroscience*, 60 (2): 551-568.
- Flanagan, J. R., Beltzner, M. A. (2000), Independence of perceptual and sensorimotor predictions in the size-weight illusion, *Nature neuroscience*, 3 (7), 737-741.
- Flournoy, T. (1894), De l'influence de la perception visuelle des corps sur leur poids apparent, *L'Année psychologique*, 1: 198-208.
- Ferrier, D. (1886), *The functions of the brain* (2nd edition), New York, Putnam.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., Carey, D. P. A. (1991), A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them, *Nature*, 349, 154-156.
- Goodwin, G. M., McCloskey, D. I., Matthews, P. B. C. (1972), The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralysing joint afferents, *Brain*, 95: 705-748.
- Gordon, A. M., Forssberg, H., Johansson, R. S., Westling, G. (1991), Visual size cues in the programming of manipulative forces during precision grip, *Experimental brain research*, 88, 477-482.
- Gordon, A. M., Forssberg, H., Johansson, R. S., Westling, G. (1991), The integration of sensory information during the programming of precision grip: comments on the contribution of size-cues, *Experimental brain research*, 85, 226-229.
- Gordon, A. M., Forssberg, H., Johansson, R. S., Westling, G. (1991), The integration of haptically acquired size information in the programming of precision grip, *Experimental brain research*, 83 (3), 483-488.
- Grandevia, S. C. McCloskey, D. I (1977), Effects of related sensory inputs on motor performances in man studied through changes in perceived heaviness, *Journal of Physiology*, 272, 653-672.
- Grandevia, S. C. McCloskey, D. I (1977), Changes in motor commands as shown by changes in perceived heaviness, during partial curarization and peripheral anesthesia in man, *Journal of physiology*, 272, 673-689.
- Granit, R. (1972), Constant errors in the execution and appreciation of movement, *Brain*, 95, 649-660.
- Granit, R. (1975), The functional role of muscle spindles-facts and hypotheses, *Brain*, 98, 531-556.
- Harper, R. S., Stevens, S. S. (1948), A psychological scale of weight and a formula for its derivation, *American journal of psychology*, 61, 343-351.
- Harshfield, S. P., De Hardt, D. C. (1970), Weight judgement as a function of apparent density of objects, *Psychonomic science*, 20, 365-366.
- Helmoltz, H von (1925) [1866], *Treatise on physiological optics*, vol. 3, Menasha, WI, Optical Society of America.
- Holmes, G. (1917), The symptoms of acute cerebellar injuries due to gunshot injuries, *Brain*, 40, 461-535.
- Holmes, G. (1922), The croonian lectures on the clinical symptoms of cerebellar disease and their interpretation, *Lancet*, 2, 111-115.
- Holway, A. H., Hurvich, L. M. (1937), On the discrimination of minimal differences in weight: 1. A theory of differential sensitivity, *Journal of psychology*, 4, 309-332.
- Huang, I. (1945), The size-weight illusion in relation to perceptual constancies, *Journal of general psychology*, 33,043-63.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J. (1987), The intelligent hand. In G. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 21, pp. 121-151), New York: Academic Press.
- Knowles, W. B., Sheridan, T. B. (1966), The "feel" of rotary controls: friction and inertia, *Psychological review*, 60, 223-231.
- Koseleff, P. (1957), Studies in the perception of heaviness, *Acta psychologica*, 13, 242-252.
- Kreifeldt, J. G., Chuang, M. C. (1979), Moment of inertia: psychophysical study of an overlooked sensation, *Science*, 206, 588-590.
- Lansing, R. W., Banzett, R. B. (1993), What do fully awakened humans feel when they attempt to move? *Journal of motor behavior*, 25, 309-313.

- Lederman, S. J., Klatzky, R. L. (1987), Hand Movements: A Window into Haptic Object Recognition, *Cognitive Psychology*, 19 (3): 342-368.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L. (1997), Relative availability of surface and object properties during early haptic processing, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23 (6), 1680-1707.
- Loomis, J. M., Lederman, S. J. (1986), Tactual perception, in K. Boff, L. Kaufman, J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance* (pp. 31-1 - 31-41), New York, Wiley.
- Marsden, C. D., Rothwell, J. C., Traub, M. M. (1979), Effect of thumb anesthesia on weight perception, muscle activity on the stretch reflex in man, *Journal of physiology*, 294, 303-315.
- Masin, S. C., Crestoni, L. (1988), Experimental demonstration of the sensory basis of the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 44 (4): 309-312.
- McCloskey, D. I. (1974), Muscular and cutaneous mechanisms in the estimation of the weights of grasped objects, *Neuropsychologia*, 12, 513-520.
- McCloskey, D. I., Ebeling, P., Goodwin, G. M. (1974), Estimation of weights and tensions and the apparent involvement of a "sense of effort", *Experimental neurology*, 42, 220-232.
- McCloskey, D. I., Torda, T. A. G. (1975), Corollary motor discharges and kinaesthesia, *Brain research*, 100, 467-470.
- McCloskey, D. I. (1978), Kinesthetic sensibility, *Psychological Review*, 58, 763-820.
- Pagano, C. C., Fitzpatrick, P., Turvey, M. T. (1993), Tensorial basis to the constancy of perceived length over variations of dynamic touch, *Perception & Psychophysics*, 54, 43-54.
- Pagano, C. C., Kinsella-Shaw, J. M., Cassidy, P., Turvey, M. T. (1994), Role of the inertia tensor in haptically perceiving where an object is grasped, *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 20, 276-285.
- Pagano, C. C., Turvey, M. T. (1993), Perceiving by dynamic touch the distance reachable with irregular objects, *Ecological psychology*, 5, 125-151.
- Pagano, C. C., Turvey, M. T. (1996), Exteroception and exproprioception by dynamic touch are different functions of the inertia tensor, *Perception & psychophysics*, 58 (8): 1191-1202.
- Robles-De-La-Torre, G., Hayward, V. (2001), Force can overcome object geometry in the perception of shape through active touch, *Nature*, 412 (July): 445-448.
- Roland, P. E. (1978), Sensory feedback to the cerebral cortex during voluntary movement in man, *Behavioral and brain sciences*, 1, 129-171.
- Roland, P. E., Landegaard-Pedersen, H. (1977), A quantitative analysis of sensations of tension and of kinaesthesia in man, *Brain*, 100, 671-692.
- Ross, H. E. (1966), Sensory information necessary for the size-weight illusion, *Nature*, 212, 650.
- Ross, H. E. (1969), When is a weight not illusory?, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 21, 346-355.
- Ross, H. E., DiLollo, V. (1970), Differences in the heaviness in relation to density and weight, *Perception & Psychophysics*, 7, 161-162.
- Ross, H. E., Gregory, R. L. (1970), Weight illusions and weight discrimination. A revisited hypothesis, *Quarterly Journal of experimental psychology*, 22, 318-328.
- Ross, H. E., Reschke, M. F. (1982), Mass estimation and discrimination during brief periods of zero gravity, *Perception & Psychophysics*, 31, 429-436.
- Rothwell, J. C., Traub, M. M., Day, B. L., Obeso, J. A., Thomas, P. K., Marsden, C. D. (1982), Manual motor performance in a deafferented man, *Brain*, 105, 512-542.
- Rule, S. J., Curtis, D. W. (1977), The influence of the interaction of weight and volume on subjective heaviness, *Perception & Psychophysics*, 22, 159-164.

- Sherrington, C. S. (1900), The muscular sense, in E. A. Schäfer, Textbook of physiology, vol. 2, 1002-1025, Edinburgh, Pentland.
- Solomon, H. Y. (1988), Movement produced invariants in haptic exploration: an example of a self-organizing, information-driven, intentional system, *Human movement science*, 7, 201-223.
- Solomon, H. Y., Turvey, M. T., & Burton, G. (1989), Perceiving Extents of Rods by Wielding: Haptic Diagonalization and Decomposition of the Inertia Tensor, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15 (1): 58-68
- Solomon, H. Y., Turvey, M. T., & Burton, G. (1989), Gravitational and muscular variables in perceiving extent by wielding, *Ecological Psychology*, 1, 265-300.
- Solomon, H. Y., Turvey, M. T. (1988), Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects, *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 14 (3): 404-427.
- Stevens, J. C., Cain, W. S. (1970), Effort in isometric muscular contractions related to force level and duration, *Perception and Psychophysics*, 8, 240-244.
- Stevens, J. C., Rubin, Psychophysical scales of apparent heaviness and the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 8, 225-230.
- Turvey, M. T (1996), Dynamic touch, *American Psychologist*, 51 (11), 1134-1152.
- Turvey, M. T., Burton, G., Amazeen, E. L., Butwill, M., & Carello, C. (1998), Perceiving the width and height of a hand-held object by dynamic touch, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 35-48.
- Turvey, M. T., Shaw, R. E., Reed, E. S, Mace, W. M. (1981), Ecological laws of perceiving and acting; in reply to Fodor e Pylyshyn, *Cognition*, 9, 237-304.
- Victor Raj et al. (1985), Weight appreciation in the hand in normal subjects and in patient with leprosy neuropathy, *Brain*, 108, 95-102.
- Waller, A. D. (1891), The sense of effort: an objective study, *Brain*, 14: 179-249.
- Weber, E. H. (1978) [1834], *The sense of touch*, London, Academic Press.

PARTE TERZA: CONTRIBUTI DELLO STUDIO DELL'ILLUSIONE TATTILE AD UNA TEORIA DELLA PERCEZIONE E DELL'AZIONE

a) Alcuni motivi di riflessione a partire dal modello del tensore inerziale: percezione, movimento, cognizione.

Sono tre le considerazioni importanti che possiamo trarre da una considerazione ulteriore del modello del tensore inerziale, considerazione allargata alla sua funzione contemporaneamente propriocettiva, esteroceettiva e expropriocettiva:

- Innanzitutto questo modello ci fornisce un approccio alla percezione degli oggetti e alla percezione del proprio corpo capace di mettere in discussione le distinzioni tradizionali tra proprio e esterocezione. Sono proprio quei sistemi percettivi che definiscono la proprioccezione, il senso muscolare in testa, a essere responsabili della percezione delle magnitudini e dell'orientamento di oggetti che vengono tenuti in mano e che quindi possono essere considerati come prolungamenti degli oggetti-membra. Reciprocamente, da un punto di vista metodologico, è imparando a considerare la dinamica che coinvolge l'oggetto tenuto in mano durante il movimento che l'arto gli fa subire, che ci aiuta a estendere il modello del tensore inerziale anche alla percezione del proprio corpo, una volta che questo venga adeguatamente considerato come un sistema di cilindri che ruotano rispetto alle articolazioni.
- In secondo luogo il tensore inerziale è un parametro dinamico, che si rivela solo nel corso del movimento tridimensionale di un corpo rigido, in quanto invariante di questo stesso movimento. Ambedue le prime considerazioni sono possibili se consideriamo il sistema percettivo dinamico come un sistema percettivo-motorio, in cui la percezione si dà solo nel corso di un esercizio motorio, le cui invarianti e gli effetti che queste hanno sulla deformazione dei tessuti, costituiscono i parametri significativi della percezione. E' dunque necessario considerare il

lato inverso della relazione, allargando il discorso al ruolo della propriocezione all'interno di compiti complessi di coordinazione e controllo del movimento.

- Bisogna infine rilevare che il tensore inerziale fornisce un'informazione "in tempo reale", indipendentemente da rappresentazioni dell'oggetto o del corpo immagazzinate (immagini del corpo). Fare perno sul tensore inerziale per spiegare aspetti della propriocezione e della esterocezione solleva dunque, almeno nella misura vista fino qui, dal bisogno di ricorrere a rappresentazioni interne del corpo come dell'oggetto, a favore della natura diretta dei processi percettivi in atto. Tanto più sembra inutile il ricorso a mediazioni di tipo visivo, a immagini visive che dominerebbero la percezione tattile. Questa considerazione è confermata dalle esperienze sulle illusioni di posizione indotte vibratoriamente, nelle quali l'angolo articolare percepito supera l'escursione fisiologica dell'articolazione, e non può dunque essere mai stato percepito precedentemente. Se la percezione della posizione delle membra può andare oltre ciò che è anatomicamente possibile, significa che non ha bisogno di uno schema corporeo immagazzinato su cui basarsi. Ma questo non vuol dire, come sembra suggerire Turvey che si possa eliminare ogni ricorso a considerazioni cognitive o di livello superiore quando si consideri la percezione aptica. Questo tipo di percezione ha effetti epistemologici, di conoscenza dello stato del mondo e del proprio corpo ed è a sua volta influenzata da aspettative, conoscenze e esperienze precedenti. Sono ancora i fusi neuromuscolari e il loro funzionamento nella modulazione dello stato delle fibre sensoriali a confortarci in questo tipo di considerazioni. Si pone dunque il problema di comprendere quanto e come la percezione aptica sia permeabile alla cognizione, più che prendere partito contro questa reciproca integrazione.

Come possiamo notare queste considerazioni prendono tutte in conto il rapporto tra percezione e movimento (e cognizione). Già Weber sottolineava l'importanza dei movimenti attivi legati al senso muscolare, e nessuna delle spiegazioni della percezione del peso ha potuto in seguito sottrarsi alla considerazione sulla centralità del movimento, qualunque forma questo abbia assunto nei vari modelli. Ma nel modello inerziale il senso muscolare assume un'importanza particolare e una significativa capacità esplicativa, in quanto aiuta a ridefinire il rapporto tra estero e propriocezione. Abbiamo detto all'inizio, nella prima parte quanto questo rapporto fosse interessante sotto molteplici punti di vista: per illustrare un modo di relazione tra due modalità sensoriali diverse, le quali in questo caso si trovano anche a far parte di un medesimo sistema percettivo, e quindi per ridefinire la classificazione interna alla somestesi; ma anche per mettere meglio in luce, essendo in causa il senso della posizione e del movimento del proprio corpo, se questo è coinvolto anche nella percezione del mondo esterno e non solo della propria attività muscolare. Alla luce delle illustrazioni che abbiamo dato del modello del tensore inerziale, vogliamo sviluppare delle considerazioni a questo proposito e mostrare che esterocezione e propriocezione hanno una base comune, sensoriale, nei recettori che misurano la deformazione di muscoli e tendini, e quindi nelle vie che elaborano questo tipo di segnale, e motoria, nel ruolo fondamentale giocato dall'azione esplorativa, quindi non solo dai recettori, ma anche dai motoneuroni che governano tanto direttamente i muscoli quanto indirettamente i recettori sensoriali stessi. In effetti il fatto di chiamare in gioco il "senso muscolare" fa sì che si debba prestare una nuova attenzione al circuito gamma che sottende parte del funzionamento dei fusi neuromuscolari.

Propriocezione, esterocezione e expropriocezione.

Abbiamo già visto, nella sezione precedente, quello che ne è della percezione degli oggetti esterni via tatto dinamico. Turvey applica lo stesso approccio alle membra del corpo, che considera come segmenti descrivibili attraverso tensori inerziali rispetto ai diversi punti di rotazione posti nelle articolazioni: l'abilità del tatto dinamico di utilizzare la deformazione dei tessuti muscolari come conseguenza dell'inerzia rotazionale assume così un ruolo propriocezionale (ricordiamo che la propriocezione è la percezione dello stato del proprio corpo, inteso come posizione statica, ovvero come l'orientamento dei segmenti che compongono il corpo. In questo senso la propriocezione si distingue dalla cinestesi, ovvero dalla percezione del movimento delle membra del corpo. In realtà queste due funzioni vengono tipicamente considerate in maniera unitaria in quanto coinvolgono gli stessi recettori).

Assume un'importanza particolare in questa considerazione la forma delle membra del corpo: Bodies of animals are composed of cylindrical parts, approximately round or elliptical in cross-section with a readily identifiable longitudinal axis (Pagano, Turvey, 1995, 1072). La percezione dell'orientamento di questi cilindri non può dipendere in maniera privilegiata da quantità geometriche, perché abbiamo visto che i recettori articolari che misurano l'angolo tra due segmenti hanno un ruolo secondario nella percezione della posizione delle membra. Si tratta dunque di quantità meccaniche, che hanno per conseguenza la deformazione dei tessuti muscolari e quindi l'entrata in azione dei recettori in essi contenuti. E' in base a queste informazioni che si può pensare di generalizzare a partire da quanto è stato mostrato nella percezione dell'orientamento di oggetti tenuti in mano, e considerare che l'orientamento spaziale delle parti del corpo sia conosciuto individuando i loro autovettori. Pagano e Turvey mettono dunque in opera una serie di esperimenti nei quali vengono manipolati gli autovettori del braccio chiedendo ai partecipanti di tenere un oggetto con dei piccoli pesi attaccati (l'oggetto è una croce e i pesi sono aggiunti alle componenti perpendicolari rispetto all'asse maggiore del braccio) e poi di indicare col braccio così modificato dei punti in direzioni particolari (col braccio che punta nascosto alla vista). In particolare è l'autovettore di resistenza minima ad essere modificato, mentre rimane inalterato l'orientamento geometrico del braccio. Come previsto sulla base dell'ipotesi del significato degli autovettori nella percezione dell'orientamento dell'arto, se il peso è aggiunto a sinistra, il soggetto tende a puntare più a destra che nella condizione in cui le masse sono aggiunte in modo simmetrico dai due lati, e più sulla sinistra quando il lato destro è appesantito (puntare di 2° più a sinistra dell'obiettivo significa infatti percepire il proprio braccio di 2° più a destra della sua posizione "reale"). Un secondo esperimento quantifica più precisamente le escursioni verso destra e verso sinistra utilizzando pesi di grandezze diverse, in modo che si vede che la grandezza dell'escursione verso destra o verso sinistra è proporzionale alla grandezza del peso aggiunto dal lato opposto. Infine, in una terza sessione sperimentale, viene valutata la percezione dell'arto durante un movimento continuo da un obiettivo ad un altro: anche cambiando il tipo di compito e quindi la dinamica del movimento, la dipendenza della percezione dell'orientamento dell'arto dagli autovettori rimane inalterata, confermando così una forte disposizione da parte della

propriocezione a utilizzare le quantità (il tensore inerziale) cui il tatto dinamico si è dimostrato sensibile in compiti esterocettivi. Simply put, moving one's limb can be considered a case of dynamic touch, and the manner in which any object, including limbs, is perceived by dynamic touch may be one and the same. (Pagano, Turvey, 1995, 1081) Lo spostamento della posizione percepita dell'arto nei tre esperimenti, e nel terzo in particolare, è comunque significativamente minore del previsto. E' possibile dunque che anche l'angolo articolare giochi un ruolo nella percezione della posizione, o che i partecipanti abbiano percepito le masse aggiunte come appartenenti ad un oggetto esterno, riducendo così la loro fiducia nella percezione, o ancora che la resistenza alla forza di gravità abbia giocato un ruolo. Resta il dato importante dell'esistenza di una correlazione tra percezione dell'orientamento delle membra del corpo e tensore inerziale.

Gli autori del modello del tensore inerziale sottolineano però che la novità del loro approccio consiste nel rendere conto attraverso una sola quantità meccanica delle funzioni propriocettive, esterocettive e expropriocettive. Queste ultime in particolare riguardano la capacità da parte del sistema aptico dinamico di percepire proprietà che comprendono le membra del corpo e l'oggetto con cui esse si trovano in una relazione dinamica, tenendolo, manipolandolo, muovendolo.

The haptic perceptual system is the system by which one knows the body, and objects adjacent to the body, by means of the body. Its sensory bases is provided by mechanoreceptors and its loss severely limits a person to a few purposeful movements that can only be conducted with considerable concentration and intellectual effort. (Turvey, 1998)

Un'analisi dei risultati delle esperienze di Turvey e colleghi conduce infatti a individuare quattro funzioni riempite dal sistema aptico dinamico: una funzione percettiva diretta all'esterno, alla percezione (di alcune) delle proprietà degli oggetti; una funzione percettiva diretta all'interno, alla percezione della struttura e della localizzazione spaziale delle membra del proprio corpo; una funzione motoria di esplorazione del mondo degli oggetti; una funzione motoria di controllo e coordinazione dei movimenti. Ma in realtà quello che è più interessante è vedere il modo in cui queste diverse funzioni sono legate, ad esempio in quella che Turvey chiama exproprioccezione.

When one firmly grasps and manipulates an occluded object, there is conjointly perception of properties of the object and how the body segments and the object are oriented relative to each other. For example, when an object such a ruler, a hammer, a hockey stick, or a cane is held at a position part way between its two ends, one seems to have nonvisual impressions of the overall magnitude of the object, the magnitude of the portion of the object that lies to one side of the hand, the position of the hand along the object, and the orientation of the object relative to the hand: These concurrent haptic perceptions of holding must play a significant role in the control of action involving the held object. (Pagano, Carello, Turvey, 1996)

Laddove dunque l'esterocezione è diretta alla percezione di proprietà di oggetti, e la propriocezione all'orientamento di segmenti del corpo uno rispetto all'altro e del corpo nel suo complesso, rispetto all'ambiente circostante, l'exproprioccezione è la percezione dell'orientamento di membra del proprio corpo, come la mano, rispetto ad un oggetto. Un esempio di questa funzione è rappresentato dalla percezione contemporanea della grandezza della parte dell'oggetto manipolato che va in una certa direzione (lunghezza parziale dell'oggetto) e dalla posizione della presa (posizione della mano rispetto all'oggetto). Pagano, Carello, Turvey (1996) investigano attraverso alcuni esperimenti l'ipotesi di una covariazione sistematica da una parte tra lunghezza parziale e prodotti e momenti dell'inerzia presi insieme, e dall'altra tra posizione della mano e prodotti dell'inerzia, rivelata dall'analisi del tensore inerziale. I soggetti prendono in mano una serie di bastoni di lunghezza eguale, di cui uno con un anello di un certo peso fissato alla parte bassa (sotto la posizione di presa), uno con due anelli del medesimo peso fissati alle due estremità del bastone, uno senza masse aggiunte. La posizione della presa dovrebbe essere percepita allo stesso modo nelle due condizioni di bastone con due masse aggiunte e di bastone senza massa aggiunta; quando una sola massa è aggiunta invece, la presa dovrebbe essere percepita più in alto. Per la percezione della lunghezza parziale, la lunghezza del bastone sopra la mano è identica per la condizione senza massa aggiunta e con una sola massa aggiunta, quindi la percezione delle lunghezze parziali dovrebbe essere uguale nelle due condizioni; al contrario quando due masse sono aggiunte, la percezione della lunghezza parziale dovrebbe essere maggiore che nelle altre due condizioni (si noti che in ambedue casi viene sfruttata per l'esperimento "l'illusione" che lega percezione della lunghezza o della posizione delle membra rispetto alla distribuzione della massa). I soggetti valutano questi due parametri tenendo gli oggetti nella mano destra, nascosta alla loro vista, e indicano la lunghezza parziale o la posizione della mano percepite su un bastone visibile posto di fronte. I risultati confermano l'esistenza di una dipendenza selettiva della percezione della lunghezza parziale e della posizione della mano da componenti diverse del tensore inerziale: la posizione percepita della presa varia in funzione del modo in cui la massa dell'intero bastone è distribuita relativamente alla mano; mentre la lunghezza parziale percepita è più influenzata dalla grandezza della massa dell'oggetto localizzata sopra la mano piuttosto che sotto la mano. L'esperimento conferma dunque che: le componenti del tensore inerziale per un sistema che comprende un oggetto tenuto in mano supportano tanto la percezione "propriocettiva" della posizione della presa della mano, quanto la percezione "esterocettiva" della parte di un oggetto che giace in una certa direzione; che il modo in cui il tensore inerziale supporta queste due percezioni è differente (impressioni separate fanno riferimento a aspetti separati del tensore inerziale); e che la posizione della presa è una funzione delle componenti fuori dalla diagonale (prodotti), mentre la lunghezza parziale è funzione tanto dei prodotti che dei momenti dell'inerzia. In sunto, la percezione delle proprietà in questione è possibile grazie al modo in cui il tensore inerziale riflette la distribuzione della massa di tutto l'oggetto rispetto alla mano e la distribuzione proporzionale di questa massa da una parte o dall'altra della mano. Il tensore inerziale è dunque una quantità fisica sufficientemente strutturata per veicolare informazioni differenziate che riguardano diversi aspetti delle interazioni dinamiche, motorie e esplorative tra le parti del corpo e tra corpo e ambiente.

Il tensore dell'inerzia può costituire in questo modo la variabile rilevante per le proprietà dell'oggetto manipolato, del segmento che lo manipola e delle relazioni tra la mano e l'oggetto. Quando si tiene in mano un oggetto c'è percezione congiunta degli aspetti delle grandezze dell'oggetto, del modo in cui i segmenti del corpo sono orientati uno rispetto all'altro e rispetto al corpo, e infine del modo in cui un oggetto è orientato rispetto ai segmenti del corpo e questi rispetto all'oggetto. Queste ultime percezioni non devono essere ignorate. Sono tre tipi di percezione a cui corrispondono tre tipi di informazione rilevanti: una che riguarda superfici, oggetti, eventi dell'ambiente, una che riguarda il rapporto delle membra

del corpo tra di loro o col corpo nella sua totalità, infine una che riguarda la relazione che queste parti, o il corpo intero, intrattengono con l'ambiente. Le tre informazioni raggiungono il sistema percettivo attraverso aspetti distinti di una medesima invariante.

Il tensore inerziale provvede le quantità per la propriocizione e la esterocezione, nonché per la expropriocizione, grazie ai principali momenti dell'inerzia, i quali influenzano le magnitudini degli oggetti percepiti, e agli autovettori, i quali influenzano la percezione delle relazioni tra mano e oggetto, dell'orientamento degli oggetti e dell'orientamento degli arti. Queste funzioni percettive rese possibili dal tensore inerziale sono realizzate dal "senso muscolare", tanto per la proprio quanto per la esterocezione o expropriocizione.

Il senso muscolare.

Turvey sostiene la tesi che il principale responsabile per la percezione della posizione delle membra e del movimento è costituito dal "senso muscolare", ovvero dai recettori muscolari e tendinei, in opposizione al ruolo rivestito dai recettori articolari e si richiama per questo ad alcuni studi (citati in Pagano, Carello, Turvey, 1996 e Pagano, Turvey, 1995). Il senso muscolare così concepito è il principale responsabile per il tatto dinamico, quindi anche per la expropriocizione e la esterocezione (Fitzpatrick, Carello, Turvey, 1994). Il legame tra tatto dinamico e "senso muscolare" risiede evidentemente nel fatto che le forze in gioco nel manipolare e tenere un oggetto, compiti classici del tatto dinamico, inducono deformazioni dei muscoli e dei tendini, e quindi producono nei loro recettori patterns tipici di attività. Perché il modello del tensore inerziale sia fondato è dunque necessario che il "senso muscolare" abbia le possibilità strutturali per garantire simili prestazioni.

Bell (1826, 1836) aveva osservato che i muscoli devono contenere sia fibre motorie che sensitive, e indicato queste ultime come le responsabili del "sesto senso" o "senso muscolare", secondo la formulazione di Sherrington (1906): il senso dell'azione muscolare e la coscienza dello sforzo fatto, grazie al quale possiamo conoscere la posizione del corpo e delle sue membra, quando la vista non dirige l'azione e non c'è contatto con altri corpi, ma anche le proprietà delle superfici adiacenti al corpo. Fino alla prima metà di questo secolo è stato creduto che sia i recettori muscolari che quelli articolari contribuissero alle sensazioni cinestetiche, senza distinguere ruoli specifici.

In seguito c'è stata una larga messa in discussione del ruolo dei recettori muscolari nella percezione cosciente della posizione e del movimento: il "senso muscolare" è stato confinato al controllo subcosciente del movimento, alla gestione dei riflessi di posizione. Questa visione è stata giustificata negli anni '50 dall'incapacità a rintracciare potenziali evocati nella corteccia in seguito alla stimolazione delle fibre afferenti muscolari, potenziali facilmente individuabili in seguito a stimolazione cutanea. L'argomento è stato però presto superato grazie all'individuazione delle suddette proiezioni. Nonostante questo, altri argomenti (come l'assenza di azione sensoriale dei fusi dei muscoli extraoculari) hanno suggerito l'idea che il sistema percettivo legato ai fusi neuromuscolari svolgesse la sua attività ad un livello automatico, senza interessare la coscienza e quindi senza entrare nella vera e propria percezione della posizione e del movimento. Ovvero che le proiezioni corticali fossero all'origine di un servo-meccanismo di controllo della coordinazione motoria, senza ruolo "sensoriale". Anche in manuali attuali di neuroscienze, i recettori muscolari trovano il loro posto nei capitoli sul movimento riflesso, e solo poche parole in quelli sulla percezione tattile.

Si pone tra l'altro in questo modo il problema di più ampio respiro della "percezione incoscia", ovvero se la percezione sia un fenomeno della coscienza che si distingue nettamente da fenomeni inconsapevoli, legati ai riflessi e agli automatismi. Gli studi sulla propriocizione degli anni '50 e '60 citati da Goodwin, McCloskey, Matthews, 1972 sembrano tracciare un confine netto tra sensazione, che deve essere per forza cosciente, e afferenze facenti parti di servo-meccanismi, senza alcun ruolo percettivo. In virtù di questo "problema della coscienza", "it became the physiological orthodoxy of the 1960s that muscle receptors have no part to play in kinaesthesia" (Goodwin, McCloskey, Matthews, 1972, gli autori citano una serie di articoli degli anni '50, '60 e '70 che appoggiano questa "ortodossia"). I responsabili del senso di posizione sono allora individuati nei recettori articolari, o nelle scariche corollarie (il termine "scarica corollaria" è stato introdotto da Sperry nel 1950 proprio per il controllo dei muscoli extraoculari). Molti autori, tra cui Granit, McCloskey, Goodwin, Matthews, Eklund, negli anni '70, sono impegnati nello studio dei fusi neuromuscolari e nel loro ruolo nella propriocizione.

La loro strategia, come nel caso di Granit, comprende, da una parte, il ridimensionamento del ruolo delle afferente articolari e delle scariche corollarie. Per quel che riguarda i recettori delle articolazioni viene mostrato (Goodwin, McCloskey, Matthews, 1972) che la consapevolezza del movimento persiste anche quando gli afferenti articolari e cutanei sono anestetizzati mentre è preservata la sensibilità muscolare, questo già indica la possibilità che i recettori muscolari influenzino la coscienza e contribuiscano alla sinestesia. Le scariche corollarie sono dimostrate inefficaci invece grazie ad esperimenti che inducono un'anossia totale nell'intero braccio, tale da paralizzare tanto i muscoli che muovono le dita, tanto i recettori articolari: il soggetto perde la sensazione dell'occorrenza del movimento poco prima di perdere la capacità stessa di muovere le dita. Si vede così che le scariche corollarie del movimento da sole non sono sufficienti per la cinestesi.

Dall'altra parte si tratta di analizzare il comportamento percettivo dei fusi neuromuscolari, specie in situazioni "limite", come quando si producono illusioni, per dimostrare direttamente il ruolo di questi organi nella percezione cosciente del movimento e della posizione.

Granit (1972) sostiene che la tendenza ad ignorare l'esistenza di proiezioni corticali dei fusi neuromuscolari anche negli esperimenti è dovuta ad un pregiudizio "isolazionista" ereditato dalla psicofisica, il quale implica che, se è impossibile identificare una risposta cosciente quando un organo di senso è stimolato isolatamente, allora il suo messaggio non può mai implicare coscienza. L'invito implicito di Granit è a guardare al funzionamento dei sensi in condizioni più complesse, in questo caso alle illusioni che riguardano il "senso muscolare". Gli atti motori, anche i movimenti che consideriamo volontari, sono in larga parte automatici, ovvero appartengono all'organizzazione incoscia dei controlli. E' allora quando "qualcosa va storto" nell'esecuzione del comando che l'evento accede alla coscienza:

For this reason constant errors of judgement on motor performance, often appearing as illusions, are of great interest for the physiologist.” (Granit, 1972, 649)

I fusi neuromuscolari fanno dunque parte di un meccanismo per il controllo dell'esecuzione motoria in relazione ai comandi; questo controllo è di base automatico, fa parte dell'informazione propriocettiva globale e diventa cosciente nel momento in cui accade qualcosa di inatteso di cui ci si deve occupare, o quando un'attenzione speciale è diretta alle sensazioni provenienti dai muscoli. Questa prospettiva permette di superare la distinzione troppo netta tra meccanismi automatici e percezione cosciente, affermando che sensazioni che fanno parte di sistemi normalmente non coscienti possono diventarlo quando la situazione o il compito lo richiama; in questo caso la coscienza non è una proprietà delle sensazioni o della percezione, ma un livello ulteriore di controllo che si aggiunge quando necessario. Le illusioni hanno il ruolo di richiamare l'attenzione di questo controllo sull'attività e la sensazione muscolare e quindi di mettere in luce i meccanismi del movimento che normalmente sono "scontati" e inapparenti. Granit ne cita diversi esempi (con relativa bibliografia aggiornata al 1972):

- Errori costanti riferibili ai riflessi di aggiustamento: arresto di movimenti in corso (esempio di spostamento di carretti) provoca errori rimarchevoli di valutazione della distanza percorsa (l'errore aumenta con la forza dell'impatto, ovvero con la velocità del movimento, e diminuisce con la distanza percorsa). L'illusione non può essere eliminata con l'allenamento; Granit spiega l'illusione ricorrendo al fatto che una contrazione isotonica viene improvvisamente cambiata in isometrica, provocando in questo modo la scarica dei fusi che facilitano i motoneuroni, i quali dunque aumentano il loro output. Il soggetto è dunque mal guidato dai suoi organi di senso dopo aver compiuto l'atto e si basa solo sulle proprie intenzioni per giudicare della distanza. La spiegazione dell'illusione risiede nei processi di compensazione messi in atto dai fusi che agiscono nel legame alfa-gamma. Il legame alfa-gamma (alpha-gamma linkage) illustrato da Granit (1975) fa parte del funzionamento dei motoneuroni gamma, la componente motoria degli organi sensitivi del muscolo. I motoneuroni gamma mantengono i fusi in uno stato adatto a rispondere alla lunghezza e alla velocità di cambiamento della lunghezza del muscolo, questo controllo centrifugo viene dunque dall'alto e mantiene gli organi di senso del movimento in uno stato predisposto centralmente. Il controllo centrifugo prende due forme: una di scarica tonica statica o poco fluttuante dei neuroni fusimotori, indipendente dall'attività dei motoneuroni alfa, che mantiene uno stato di prontezza a muoversi, di preparazione; una di coattivazione dei neuroni motori fusali e extrafusali, appunto l'alpha-gamma linkage, che è legata all'esecuzione di movimenti.
- Illusioni dell'intenzione e della sensazione di innervazione: Granit riporta in questo tipo di illusioni la swi o illusione di Charpentier, di cui abbiamo parlato, criticando l'ipotesi esistano realmente delle sensazioni di innervazione (delle quali ritiene che le scariche corollarie, la sensazione di sforzo, la copia efferente non siano che termini alternativi) e che ad esse possa essere riferita l'illusione del peso.
- Post-contrazioni posturali e riflessi vibratorii: l'elemento comune è rappresentato dal fatto che vi sono delle contrazioni extrafusali involontarie in seguito a vibrazione o a pressione del muscolo; l'illusione anche in questo caso, come vedremo meglio, chiama in causa i fusi, di cui mostra la capacità di fornire informazioni coscienti sullo stato muscolare. Lo studio di illusioni di posizione e movimento indotte attraverso vibrazione dei muscoli dimostra che i segnali sensoriali dei fusi neuromuscolari determinano la posizione delle membra del corpo anche in caso di segnali contrari da parte delle articolazioni e illustra alcune caratteristiche della propriocezione. Pagano, Turvey (1995) e Fitzpatrick, Carello, Turvey (1994) utilizzano questa massa di studi sul "senso muscolare" per inscrivere la propriocezione e la esterocezione nel modello del tensore inerziale.

Goodwin, McCloskey, Matthews mostrano che la vibrazione di un muscolo (alternativamente bicipite e tricipite brachiale) applicata alla pelle che copre i tendini immediatamente sopra il gomito procura una distorsione del senso di posizione. La distorsione viene misurata utilizzando l'altro arto per indicare la posizione illusoria di quello cui è applicata la vibrazione. Poco dopo l'inizio della vibrazione del bicipite, il braccio inizia a muoversi in flessione sotto l'influenza del riflesso tonico di vibrazione: la vibrazione provoca infatti una distensione del muscolo, cui le fibre del fuso rispondono con una eccitazione che produce un riflesso di stiramento. E' come se il muscolo fatto vibrare fosse più stirato di quanto non sia realmente. La parte iniziale del riflesso non è percepita dal soggetto, il quale lascia dunque il braccio misuratore immobile mentre quello fatto vibrare si è già mosso di alcuni gradi. Quando il braccio di misura comincia ad essere spostato, questo movimento è più lento e quindi la differenza di posizione in gradi tra le due braccia si accresce. Se si interviene col progresso del riflesso tonico di vibrazione arrestando il movimento senza che il soggetto ne sia a conoscenza, si sviluppa una forte sensazione che il braccio si stia muovendo nella direzione opposta rispetto a quella che stava precedentemente seguendo. L'illusione ha dunque due aspetti: l'impressione che il muscolo sia stirato a velocità costante (impressione di movimento) e l'impressione che il suo stato sia più esteso di quanto attualmente sia (illusione di posizione). Non c'è segno di illusione se la vibrazione viene imposta direttamente all'articolazione del gomito o sulla pelle che copre direttamente l'osso, di modo che i recettori muscolari sembrano proprio i responsabili dell'illusione. Ugualmente, l'illusione si produce anche se i recettori articolari sono inattivati tramite anossia. Altro fatto rilevante, l'illusione si presenta anche in assenza di contrazione muscolare volontaria, ovvero in assenza di ogni scarica corollaria o interessamento motorio centrale (gli esperimenti di McCloskey, Matthews, Goodwin mostrano che l'illusione si presenta in assenza di contrazione, durante contrazione isometrica del muscolo vibrato o del suo antagonista, durante il movimento riflesso in condizioni isotoniche, durante un movimento lento volontario; al contrario, essa è impedita da una forte contrazione del muscolo interessato, isotonica come isometrica). Essa si differenzia inoltre da fenomeni come il movimento post-contrazione (movement after-effect: in seguito ad una forte contrazione isometrica, al rilascio muscolare si produce un movimento del braccio, come quando il braccio si solleva dopo essere stato premuto fortemente in appoggio contro un muro), in quanto in quest'ultimo caso il soggetto rimane consapevole del movimento e della posizione del braccio, nonostante questo movimento sia di carattere involontario. Le illusioni propriocettive sembrano dunque essere in larga misura a carico dei fusi neuromuscolari, e non di una cattiva interpretazione del segnale a livello

centrale o a scariche corollarie durante il movimento. E questo va nella direzione di testimoniare il contributo dei recettori muscolari al senso di posizione e movimento.

Da un punto neurofisiologico, la questione ulteriore resta quella di sapere se la propriocezione, e quella cosciente in particolare, è prerogativa di ambedue le fibre sensoriali che innervano i muscoli, o se piuttosto, come sembra, le terminazioni primarie sono quelle più interessate nel tipo di illusioni descritte. Le terminazioni primarie sono in effetti più sensibili alla vibrazione e agli stimoli dinamici.

Più recentemente, Cordo, Gurfinkl, Bevan, Kerr (1995) hanno utilizzato la vibrazione dei tendini per studiare i suoi effetti sul movimento durante compiti motori coordinati propriocettivamente. Il soggetto deve iniziare un movimento, come l'apertura della mano, sulla base della cinematica di un altro movimento, come la rotazione del gomito. Sequenze motorie come queste comprendono una parte importante del nostro repertorio motorio, inclusi reaching, grasping, locomozione. Si è notato che gli effetti di questa vibrazione dipendono dalla frequenza di vibrazione e il momento in cui viene applicata rispetto all'azione in corso. Una vibrazione del bicipite a 20 HZ modula la percezione nella direzione della flessione, comportando errori di sopravvalutazione, una vibrazione intorno ai 40-60 Hz influenza la percezione nel senso dell'estensione, provocando errori da sottostima, la quale aumenta anche con il diminuire della velocità del movimento. Ma si dimostra soprattutto che la vibrazione del tendine provoca errori nella coordinazione del movimento probabilmente in ragione del ruolo degli afferenti dei fusi nella sensazione della posizione dinamica e della velocità del movimento (il sistema nervoso centrale sembra distinguere tra posizione dinamica e posizione statica: differenti popolazioni di recettori codificano i due tipi di posizione, in particolare, durante le posizioni statiche intermedie sono inattive sia le fibre IIa che le Ia, mentre tutta la popolazione segnala la posizione dinamica). La vibrazione potrebbe intervenire in due modi: nelle sequenze di movimento, il SNC sembra usare l'informazione propriocettiva sulla velocità per predire le posizioni future ad un livello relativamente automatico, e quindi compensare per ritardi in trasmissione sensomotoria e processamento; al contrario, l'informazione sulla posizione dinamica potrebbe essere usata ad un livello più percettivo per seguire la posizione dell'arto durante il movimento, determinare quando l'angolo articolare corrisponde a quello richiesto dal compito e preparare il movimento successivo nella sequenza. In particolare gli effetti registrati negli esperimenti svolti dagli autori, così come quelli illusori riportati sopra, possono essere spiegati da un'interazione tra attività propriocettiva evocata dalla vibrazione e attività propriocettiva evocata dal movimento, che il SNC sarebbe in grado di distinguere.

L'abilità "percettiva" dei recettori muscolari resta comunque, in tutti questi studi, parte essenziale dei meccanismi automatici di controllo del movimento e della coordinazione muscolare, meccanismi che non comportano la coscienza diretta dello stato muscolare, ma solo quella generale del movimento globale compiuto. Non esclude neanche il ruolo degli altri componenti periferici, organi tendinei del Golgi, recettori articolari, e centrali, come le scariche corollarie, e in generale il ruolo del controllo cognitivo, specie in casi, come la deafferenziazione sensoriale, in cui il controllo automatico venga a mancare.

Un'ipotesi di Goodwin, McCloskey, Matthews, 1972 sulle illusioni propriocettive è anzi che proprio questa composizione multipla sia all'origine dell'illusione, in quanto la vibrazione dei muscoli potrebbe indurre una confusione tra segnali provenienti da questi e segnali provenienti da altre fonti, come le articolazioni o le scariche corollarie. L'illusione deriverebbe dunque da un conflitto tra informazioni, non necessariamente da un conflitto tra informazioni periferiche e aspettative o informazioni a livello centrale, come suggerito da altri modelli analizzati nella seconda parte.

Questa composizione complessa del senso della posizione comporta due tipi di questione, una empirica e una di carattere teorico:

- la questione dell'integrazione tra informazioni provenienti da diversi afferenti a formare un percetto o un'immagine unica della posizione del corpo. Si tratta di capire come avviene questa integrazione, se a livello centrale o periferico, come Gibson e i suoi seguaci suggeriscono parlando di invarianti. Se ci siano meccanismi differenti tra l'integrazione di stimoli all'interno di una cosiddetta modalità sensoriale o tra una modalità ed un'altra. Se, nel caso di informazioni di tipo diverso (inter o intramodali) in contraddizione, vi sia sempre integrazione oppure scelta di una modalità sulle altre.
- Infine - a partire dal problema dell'integrazione intrasensoriale - se la classificazione neurofisiologica e psicologica dei sensi, che si compone di raggruppamenti come il tatto o la propriocezione, non possa in alcune occasioni essere validamente sostituita o accompagnata da classificazioni di tipo diverso, "funzionali" e "locali" nel senso di classificazioni basate sulla partecipazione a determinate funzioni adattative più o meno importanti ed in ogni caso specifiche e situate.

La propriocezione come funzione di movimento.

La propriocezione può essere considerata parte di una funzione complessiva di controllo motorio e della coordinazione dei movimenti.

Abbiamo detto che Turvey sottolinea che il sistema aptico dinamico o cinestesico è sotteso pressoché a tutto ciò che riguarda il movimento. Turvey (1998) sottolinea in particolare il posto occupato dalla propriocezione nella organizzazione del movimento coordinato e delle sinergie. La perdita di percezione aptica colpisce tutte quelle prestazioni percettive di cui la deformazione muscolare e articolare sono la chiave, dalla percezione del peso, alla percezione delle proprietà spaziali di un oggetto tenuto in mano, alla posizione delle membra del proprio corpo, considerate come segmenti soggetto alle medesime leggi di inerzia rotazionale degli oggetti manipolati. Nello stesso modo un'alterazione di questa dinamica rotazionale influenza la coordinazione ritmica tra arti controlaterali, come si vede nel caso delle sindrome da deafferenziazione, dove il controllo visivo è più o meno efficace su singoli muscoli, ma molto meno quando più muscoli sono coinvolti contemporaneamente, nel qual caso questi sono piuttosto cocontratti che orchestrati, a detrimento delle sinergie.

Quello che ci interessa sottolineare qui in particolare modo è il concetto di "funzione", in opposizione a quello di "senso". Volgiamo mostrare che la propriocezione può essere considerata non solo come un senso costituito da alcuni recettori. Il senso della posizione delle membra del proprio corpo è anche una funzione complessa alla quale contribuiscono molteplici

sistemi e che merita uno studio indipendente dalla focalizzazione su una modalità o un canale sensoriale: diversi meccanismi tradizionalmente separati nello studio "anatomico" della percezione, funzionano come un'unità in uno studio "fisiologico" sul funzionamento di un'abilità particolare. I recettori considerati influenti per questa funzione comprendono non solo quelli tendinei (o del Golgi), quelli muscolari (fusi neuromuscolari, con fibre di due tipi), quelli articolari, ma molti autori sottolineano anche il ruolo di recettori cutanei, l'importanza dei recettori vestibolari per quel che riguarda la posizione della testa, e naturalmente della vista.

Ci rifacciamo per queste considerazioni a due fonti: all'approccio di Alain Berthoz al "senso del movimento" e ai dati che emergono dallo studio delle sindromi da deafferentazione sensoriale.

La teoria proposta da Berthoz è quella del cervello come simulatore biologico che fa predizioni per l'azione pescando dalla memoria: ogni volta che inizia un'azione il cervello fa delle ipotesi sullo stato che dovranno prendere i captori nel corso del suo svolgimento, simula mentalmente il decorso dell'azione e gli effetti sui recettori (Berthoz utilizza termine simulazione al posto di quello di rappresentazione per non cadere nella trappola dualista. Il cervello è un simulatore nel senso che l'insieme dell'azione è giocata nel cervello da dei modelli interni della realtà fisica che non sono operatori matematici, ma veri neuroni con le loro proprietà di resistenza, oscillazione, amplificazione, ecc. La simulazione è l'insieme delle operazioni effettuate dal simulatore). La percezione dunque non ha nulla di passivo, e non consiste in una semplice interpretazione dei messaggi sensoriali: essa è determinata dall'azione in quanto è simulazione interna dell'azione, anticipazione delle conseguenze dell'azione. La percezione agisce, giudica e decide in funzione dell'azione e delle sue conseguenze future. Per predire le conseguenze dell'azione, il cervello si serve della memoria. Berthoz cita diversi rappresentanti di quella che chiama la "Teoria motrice della percezione": da James, Janet, Merleau-Ponty, Lashley, Gibson, alla scuola di Teuber, di Held e Hein, a Johansson, Fessard, Piéron, Imbert, Jeannerod; utilizza anche la teoria dell'attore di azione di Anokhin, del comparatore di Bernstein, l'idea di schema motorio di Schmidt, il ciclo percezione-azione di Neisser, la teoria dei nodi mentali di McKay, i neuroni specchio di Rizzolatti.

Recentemente, nel quadro di questo approccio, Berthoz ha presentato il suo nuovo progetto diretto allo studio della funzione di orientamento nello spazio, al quale applica la teoria della percezione per l'azione. Il programma è particolarmente interessante perché permette, attraverso lo studio di una abilità specifica di mettere in evidenza micro e macrosistemi percettivo-motori e cognitivi all'opera unitariamente per la realizzazione di una funzione adattativa; in virtù di questo tipo di approcci Berthoz ritiene che sia necessario considerare un numero maggiore di sistemi percettivi rispetto ai cinque tradizionali, un numero superiore a 7 e anche probabilmente a 9 poiché certi comportamenti complessi come quello d'orientamento nello spazio valorizzano l'importanza del sistema vestibolare, e di altri meccanismi percettivi di solito inclusi come componenti in uno dei cinque sensi o semplicemente tralasciati, come il senso del movimento.

Il "senso del movimento" è esemplare dell'approccio di Berthoz. Innanzitutto, le relazioni tra azione e percezione sono un modello privilegiato per studiare le funzioni del sistema nervoso, quelle tralasciate da chi si è occupato soprattutto di ragione e linguaggio, e che hanno a che fare col corpo. Berthoz sottolinea ad esempio che per comprendere come funziona il cervello non si può fare a meno di tenere in conto le proprietà meccaniche delle masse corporee, visto che il cervello ha come problema principale quello di mettere in movimento delle masse. Non solo, ma il cervello non tratta le informazioni dei sensi le une indipendentemente dalle altre. Il senso del movimento o cinestesia, dice Berthoz, risulta dunque dalla cooperazione di molti captori ed esige che il cervello ricostruisca il movimento del corpo e dell'ambiente in modo coerente. Quando questa coerenza è impossibile da realizzare, risultano disturbi percettivi e illusioni, che in effetti sono delle soluzioni che il cervello trova alla incongruenza delle informazioni sensorie e delle prerappresentazioni interne. Un esempio fornito è quello del fenomeno di illusione propriocettiva di Kohnstamm: in piedi di profilo attaccati ad un muro, se si spinge per qualche minuto il dorso della mano contro il muro, quando ci si stacca il braccio si alza da solo; questa illusione si produce solo per i muscoli prossimali, posturali e non per quelli distali, tanto che se si appende un peso al piede o alla mano, la contrazione involontaria al rilascio si manifesterà al quadricipite o al bicipite brachiale. Si tratta dunque di una reazione dei muscoli posturali dovuta al fatto che durante la pressione il cervello si è adattato a quella situazione in cui l'immobilità è accompagnata da sforzo muscolare costante: quando ci si stacca dal muro il cervello continua ad applicare quella forza, che per lui significa immobilità. Una volta rimosso l'ostacolo, l'apprendimento fatto dà al cervello l'illusione che l'ostacolo sia ancora là. Altro es.: la vibrazione secondo certe configurazioni di attivazione di muscoli della mano può indurre delle illusioni di disegno di forme geometriche. Se si stimolano in sequenza con delle vibrazioni i muscoli della mano che intervengono nel disegno di una certa figura geometrica, si induce l'illusione di disegnare la forma corrispondente ad una certa sequenza d'attivazione. I soggetti riconoscono delle vere forme geometriche e non dei semplici profili di movimento. La propriocezione è dunque capace di produrre entrate spazio-temporali che possono sottintendere delle operazioni cognitive complesse. Questa illusione mostra il ruolo di prespecificazioni delle entrate sensoriali al momento del controllo del movimento e conferma il fatto che le illusioni sono delle soluzioni che sfruttano un repertorio endogeno di forme motrici o percettive che sono confrontate con le entrate sensoriali. Quello che interessa qui sottolineare di più dell'approccio di Berthoz resta comunque l'idea che il "senso del movimento" deve essere considerato come un "sesto senso" e contemporaneamente che è un senso complesso, composto da diversi tipi di recettori, ivi compresa la vista, in un modo che non rispetta le divisioni tradizionali.

Che cosa ha di meglio questo tipo di classificazione che separa il senso del movimento rispetto ad una che parla genericamente di tatto o somestesia? Il fatto di portare l'attenzione su una funzione, uno scopo nella percezione. Individuare delle funzioni o dei compiti rispetto ai quali ritagliare i sistemi percettivi pertinenti è meno arbitrario del modo tradizionale di classificare i sensi, sebbene sia più flessibile e renda possibile il "sorgere di nuovi sensi" nel momento in cui l'attenzione si focalizza su funzioni o compiti diversi. E' solo a partire dal quadro generale di una funzione che possiamo pervenire a identificare le diverse istanze (recettori, circuiti sensorio-motori, proiezioni cerebrali) che vi sono coinvolte.

Questo tipo di considerazioni sono rafforzate dallo studio degli effetti della sindrome da deafferentazione sensoriale. In seguito ad una neuropatia periferica i pazienti in questione perdono le afferenze sensitive a provenienza dai recettori della pelle, dei muscoli e dei tendini, l'apparato efferente rimanendo intatto a livello nervoso. Quando questa neuropatia è pressoché completa i compiti motori più semplici diventano per un certo periodo impossibili: stare in piedi, camminare, manipolare, tutta l'attività viene messa in crisi. Il paziente può apprendere lentamente a controllare visivamente i suoi movimenti e in alcuni casi recupera la stazione eretta, il cammino e altre abilità più o meno complesse. Il movimento non è però più fluido e "semplice" come prima: richiede un'attenzione costante sul singolo movimento, di modo che non possono essere adempiuti più compiti contemporaneamente, e rimane spesso deficitario. Sacks (1986) espone il caso di Christina, una paziente di 27 che improvvisamente perde la percezione del proprio corpo in seguito ad una rara forma di polinevrite sensoriale, che si manifesta a carico quasi esclusivamente delle fibre propriocettive, con una perdita lieve di altre modalità sensoriali: del tatto superficiale, della temperatura e del dolore, ma senza coinvolgimento delle fibre motorie. Christina si trova in questo modo a dover gestire quel che riguarda il possesso, il controllo, il funzionamento del suo corpo in maniera diversa. Sacks racconta che all'inizio, passato il primo periodo di sconcerto e dopo aver ricominciato a muoversi, Christina non riesce a fare nulla senza usare gli occhi, tanto che appena li chiude si accascia completamente: "Doveva controllarsi con la vista, guardare attentamente ogni parte del proprio corpo in movimento, con una scrupolosità ed una concentrazione quasi dolorose. I suoi movimenti, controllati e regolati coscientemente, dapprima furono goffi e quanto mai artificiali." (Sacks, 1986, 75-76) Da sottolineare che Christina ha perso anche il tono vocale. Quello che normalmente avviene ad un livello automatico e inconscio, il controllo della propria postura, la percezione di dove sono e cosa stanno facendo le membra del proprio corpo, deve essere in questo caso affidato a meccanismi di controllo cosciente visivo, o uditivo per quel che riguarda l'emissione vocale. Altri sensi, che di solito partecipano secondo modalità specifiche alla propriocezione sono costrette ad assumerne tutto il peso, nella misura e nella maniera in cui possono farlo, a quanto sembra con un automatismo, una fluidità e "naturalità" minori rispetto a quanto avviene quando "il senso muscolare" (la parte della propriocezione che perviene a muscoli, tendini, articolazioni, per cui in questo caso il termine è improprio) è intatto. Sembra in effetti che sebbene la vista, gli organi vestibolari e forse anche l'udito riescano a compensare in parte il deficit del "senso muscolare", la modulazione del movimento resta compromessa: non si possono compiere più azioni allo stesso tempo in quanto il controllo visivo e l'attenzione devono rimanere strettamente "incollati" all'azione in corso, e non si riesce a controllare finemente il grado di contrazione che viene sempre esagerata. Non tutti i pazienti inoltre riescono a raggiungere questi livelli positivi di automatismo sotto guida visiva. Questo ci dice che la propriocezione, integra in modo complesso i recettori muscolari, tendinei, articolari, quelli cutanei in una misura non ben precisata, della temperatura e del dolore, insieme alla vista, agli organi vestibolari, e anche, all'occorrenza, all'udito, che può intervenire in maniera maggiore quando ve ne sia la necessità. Ma che alcuni organi sono più fondamentali di altri per un corretto controllo del movimento e per un corretto funzionamento del corpo in azione. La perdita della vista ad esempio, pur rendendo più complicate una serie di azioni, impedisce molto meno il corretto svolgimento di compiti motori. La perdita dell'udito non è praticamente rilevante a questo scopo. La compromissione degli organi vestibolari comporta come noto disturbi dell'equilibrio che interferiscono con molteplici compiti posturali e motori.

Le considerazioni sulla "composizione della propriocezione" imposte dalla sindrome da deafferentazione, rafforzano dunque la necessità di distinguere tra due accezioni del termine "propriocezione". Da una parte abbiamo la propriocezione come organo di senso o gruppo di organi di senso: recettori di tendini, muscoli, articolazioni, con le loro vie ascendenti e le loro aree di proiezione, considerati a parte come "sesto senso" o inclusi nella somestesia o tatto in senso generico. Questa accezione crea sovente confusione: basti dire che gli autori si riferiscono alla propriocezione o "sesto senso" una volta restringendo il campo a queste componenti, e la volta successiva includendovi anche la vista e tutto ciò che contribuisce a percepire lo stato del proprio corpo. Da qui l'utilità di distinguere una seconda accezione, della propriocezione come funzione: la funzione di percepire lo stato delle proprie membra e del proprio corpo fermo o in azione, di gestire il proprio corpo durante i diversi compiti motori, grossolani, come il controllo posturale, o fini, come la manipolazione, il grasping, eccetera. Ognuno di questi compiti può a sua volta essere isolato in quanto funzione, e le componenti che abbiamo elencato sopra possono trovare applicazioni quantitativamente e qualitativamente diverse: in compiti fini di presa (grip) con oggetti piccoli ad esempio, o in compiti dinamici come il lancio di una palla da baseball, la vista può assumere un'importanza maggiore nella decisione delle strategie motorie e nel loro controllo. In questa accezione la propriocezione è la componente percettiva di un compito funzionale più globale, che comprende programmazione e esecuzione motoria. Rispetto ad altre patologie, la sindrome da deafferentazione mostra la difficoltà di descrivere e comprendere la propriocezione se non la si mette alla prova con uno scacco nell'esecuzione di compiti. Al di là del lato esistenziale rappresentato da una malattia che colpisce una componente importante della sensazione di sé, il significato della deafferentazione diventa palese nel momento in cui il paziente non è più in grado di mantenere una postura, camminare, prendere o tenere in mano un oggetto.

La propriocezione come funzione epistemica.

Grazie a questo tipo di sindrome ci rendiamo inoltre conto che la propriocezione è il senso del nostro corpo, portatore di un tipo di informazioni che non siamo abituati (e tenuti) a mettere in discussione. Dice Oliver Sacks "che il corpo di solito non è in discussione: il nostro corpo è fuori discussione o forse non è degno di essere discusso: è semplicemente, incontestabilmente, dato. Questa incontestabilità del corpo, la sua certezza, è per Wittgenstein il punto di partenza e la base di ogni conoscenza e certezza." (Sacks, 1986, 70) La propriocezione viene in questo modo a costituire la base epistemica per ogni tipo di conoscenza.

Riflessioni molto interessanti sono state condotte a questo riguardo da Maurice Merleau-Ponty. Rielaborando il concetto di *Lebenswelt* di Husserl, Merleau-Ponty affronta il problema della percezione del proprio corpo da un punto di vista ontologico, e non grammaticale: il corpo proprio è condizione di senso e possibilità perché un mondo, e con esso tanto i soggetti quanto gli oggetti, venga ad essere.

Il ruolo attribuito dal modello del tensore inerziale alla propriocezione (ai recettori muscolari della propriocezione) nella percezione che abbiamo definito expropriocettiva e esterocettiva testimonia della centralità della percezione aptica nella conoscenza non solo dello stato del proprio corpo, ma anche in quello degli oggetti del mondo adiacenti ad esso o raggiungibili attraverso un prolungamento del corpo stesso (come un bastone).

Lascia però poco o nessuno spazio alle influenze che la cognizione ha sulla percezione aptica. Il fatto di individuare il tensore inerziale come responsabile unico della percezione di quantità, come la lunghezza, dove più dimensioni (larghezza, diametro) sembrano giocare un ruolo (sotto forma di illusioni aptiche), sembra eliminare l'ipotesi di un accoppiamento tra percetti diversi (percept-percept coupling) e costituisce un rifiuto di ogni possibile interpretazione cognitiva dei fenomeni del tatto dinamico. Come abbiamo visto nella seconda parte, non c'è neanche bisogno di ipotizzare un sistema neurale di detezione del tensore dell'inerzia: un sistema di trasformate rende conto dei tre livelli dell'elaborazione dell'informazione, meccanico, muscolare e neurale.

In realtà basta guardare al funzionamento dei recettori muscolari più importanti (i fusi neuromuscolari), per vedere quanto la componente cognitiva incida sul controllo del movimento e della percezione. Il circuito gamma controlla lo stato di contrazione e quindi di responsività degli organi di senso inseriti nel ventre muscolare: tanto più questi i motoneuroni gamma sono attivi, tanto più vengono scorciati i poli del fuso neuromuscolare, il che comporta un allungamento di tutta la fibra e un aumento della scarica afferente a provenienza dalle terminazioni sensitive primarie e secondarie. Superata una certa soglia questo provoca, come abbiamo visto nel caso della vibrazione del muscolo, un riflesso di stiramento che comporta l'attivazione dei motoneuroni alfa responsabili della contrazione muscolare extrafusale. Indipendentemente dalle conseguenze motorie in ogni caso, la scarica dei motoneuroni gamma modula le capacità percettive delle fibre sensoriali, abbassando o alzando la soglia per la comparsa del riflesso. Come abbiamo visto in Granit (1975) il legame alfa-gamma si fa anche contemporaneamente, con una coattivazione tesa a meglio controllare la precisione del movimento e il suo svolgimento, oltre che per impedire che una contrazione del muscolo scordi le componenti intrafusali rendendole inadatte a registrare i cambiamenti successivi di lunghezza. Quello che ci interessa qui è che questo complesso meccanismo non è solo capace di regolare dal basso, grazie all'azione sensoriale dei fusi, l'andamento del movimento e la comparsa di riflessi; ma che contemporaneamente, è in grado di modulare sulla base di intenzioni, conoscenze, aspettative, l'azione dei recettori muscolari, il loro livello di percezione, e con questo di modulare centralmente anche i riflessi. Questo dimostra almeno l'esistenza di meccanismi in cui le componenti basse e alte interagiscono a più livelli a seconda del compito specificato, e in cui la percezione per il movimento è influenzata dalle conoscenze e dalle funzioni percettive del soggetto, tanto quanto influenza il suo comportamento motorio. Il circuito gamma, esemplifica un modo di operare di un sistema contemporaneamente motorio, sensoriale e cognitivo impegnato tanto nel mantenimento tonico della posizione quando nelle attività fasiche più precise, come quelle dell'esplorazione manuale e digitale: nel braccio umano, fusi neuromuscolari e loro fibre sensoriali (sistema sensitivo aptico), muscoli agonisti e antagonisti del braccio, motoneuroni alfa e gamma per la contrazione delle fibre fusali e extrafusali, programmi di movimento (sistema esplorativo aptico), eventuali conoscenze precedenti, fanno parte di un solo sistema complessivo di ricerca di conoscenze di un tipo particolare. L'organizzazione di questo sistema instanzializza un modo in cui l'evoluzione ha risolto il problema di raccogliere conoscenze sul mondo esterno per rapporto al corpo del soggetto della conoscenza che è tenuto a muoversi e ad agire in questo stesso mondo per modificarlo ed esserne modificato, tenendo più o meno conto delle conoscenze che ha già a disposizione. Sotto questo punto di vista cognizione, movimento e percezione cessano di essere tre termini teorici di cui si cerca di comprendere un'astratta relazione.

b) Alcuni motivi di riflessione a partire dal modello del tensore inerziale: specificità della percezione aptica e interazione tra modalità.

Abbiamo visto che gli autori del modello del tensore inerziale tendono a ricercare e ad enfatizzare una spiegazione puramente aptica per la swi, escludendo quindi le "mediazioni centrali" rappresentate non solo dall'aspettativa, ma anche dalla visione e dalle immagini visive. Abbiamo anche detto che l'esclusione di ogni "partecipazione cognitiva" alla percezione ci sembra poco fondata, anche in virtù di dati dell'esperienza (illusione della palla da golf). Il problema della mediazione delle immagini visive introduce però un'altra questione, che è quella del rapporto tra sistemi percettivi diversi, in particolare nella forma dell'autonomia o dipendenza del sistema percettivo aptico da quello visivo.

Questo permette di indagare alcune questioni, di cui una parte rientra nel gruppo di problematiche filosofiche che vengono sollevate dalla famosa "questione di Molyneux", ma che costituiscono anche un interesse pratico per chi si occupi di riabilitazione, di progettazione di sistemi multipercettivi (sia in robotica che in ambito di realtà virtuale) :

- Il tatto dipende dalla vista, o dalle immagini visive, oppure è "autonomo"?
- Che cosa significa "autonomia" rispetto ai problemi di integrazione, che si tratti di interferenza o "binding" tra sensi?
- L'integrazione tra le due modalità sensoriali avviene solo ad un livello alto dell'elaborazione degli stimoli (tra rappresentazioni semplici, ovvero di una sola modalità sensoriale), oppure può avvenire anche ad un altro livello più basso?

Vedremo che lo studio delle illusioni tattili permette di aprire una finestra anche su questo tipo di problematiche, poiché mette in causa processi di interferenza tra sensi (i quali producono o eliminano l'illusione) e fenomeni che esistono su un doppio registro, tattile e visivo.

Autonomia del tatto

Riprendiamo il fenomeno che ci ha guidato nella seconda parte: l'illusione aptica del peso. Ellis, Lederman (1993) fa notare che la maggior parte degli esperimenti che hanno investigato la swi hanno confuso le informazioni su volume o dimensione

estratte apticamente con quelle estratte visivamente. Gli esperimenti di Ellis e Lederman sulle componenti aptiche e visive della swi sembrano mettere in discussione i modelli di mediazione visiva (dell'immagine visiva) nella percezione aptica, a favore di un modello della percezione aptica diretta, poiché, nel caso della swi, il sistema aptico si dimostra in grado di giudicare autonomamente il rapporto tra peso e volume. L'informazione visiva non è necessaria né sufficiente ad ottenere una illusione nella sua misura tradizionale: la swi è un fenomeno proprio al sistema aptico. Per inciso, si noti ancora, il ruolo rivestito in questa indagine dall'illusione: è l'esistenza di un fenomeno preciso e quantificabile come la swi che permette il confronto diretto tra le due modalità sensoriali.

Gli autori descrivono tre esperimenti tesi a valutare il ruolo della visione nella swi, e la possibilità che questa ricorra in assenza di stimoli visivi. Nel primo esperimento sono messe a confronto due condizioni, una H+V (aptica + visione), in cui i soggetti possono vedere l'oggetto (tre set di cubi di tre pesi diversi, di cui due set presentati in sette differenti volumi) mentre lo sollevano (senza restrizioni di movimento) per stimarne il peso (per rapporto ad uno standard), e una H (aptica solamente), in cui i soggetti sono bendati mentre valutano lo stimolo. I risultati indicano che una forte swi è ottenuta anche per la sola condizione H, e che la forza di questa swi non differisce significativamente da quella ottenuta nella modalità H+V. Questo suggerisce che l'uso della visione non è una condizione necessaria al presentarsi dell'illusione, e che la condizione aptica è sufficiente. Se dagli studi di Masin, Crestoni (1988), la visione è comunque anch'essa sufficiente, il secondo esperimento presentato da Ellis e Lederman ne valuta il ruolo effettivo inserendo una terza condizione di sola vista (V), in cui il soggetto valuta visivamente il volume dell'oggetto e stima il peso solo attraverso una corda cui i cubi sono sospesi, senza poterlo toccare, e una quarta condizione senza neanche la vista, poiché il soggetto che esegue lo stesso compito è bendato. Si vede che, nonostante il volume sia stimato correttamente nella modalità solo visiva, V è una condizione meno efficace di H e V+H nel produrre l'illusione, e in questo modo si dimostra che il ruolo maggiore nella swi spetta comunque alla percezione aptica, anche in presenza di visione. Per accertarsi che l'importanza della percezione aptica non sia in realtà subordinata ad una traduzione di informazioni ricevute apticamente in immagini visive, le quali verrebbero poi utilizzate per la stima, Ellis e Lederman hanno replicato il secondo esperimento su soggetti ciechi congeniti, i quali hanno offerto gli stessi risultati dei soggetti vedenti e bendati, dimostrando definitivamente che la swi è un fenomeno aptico rispetto al quale la visione o la mediazione delle immagini visive non sono necessarie.

A favore dell'autonomia del tatto sono Klatzky e Lederman (1987), le quali propongono un modello di apprensione aptica diretta in cui l'informazione sugli oggetti è estratta dai sensori aptici e poi processata apticamente per dare luogo a rappresentazioni puramente aptiche degli oggetti. Di modo che la rappresentazione aptica è soggetta alle costrizioni proprie al sistema percettivo aptico. Le rappresentazioni integrate, visive e aptiche, succedono in un secondo stadio dell'elaborazione, sono cioè una combinazione successiva rispetto ad un primo trattamento strettamente aptico o visivo dell'informazione. Per quel che riguarda la fase dell'integrazione tra modalità diverse, saranno le costrizioni imposte dal compito specifico a dare maggiore o minore forza agli stimoli visivi piuttosto che a quelli aptici, o viceversa.

La posizione di Klatzky e Lederman è motivata dall'importanza data nei loro studi alle capacità tattili, ovvero al riscatto del tatto dalla posizione di modalità sensoriale di secondo ordine, che fa le stesse cose della visione, ma peggio. Vanno in questo senso gli studi sul riconoscimento tattile di oggetti in seguito ad una breve esposizione (haptic glance), e quelli sulle abilità tattili non condivise da altri sensi: Klatzky, Lederman, Reed (1987), Lederman, Klatzky (1997).

E' inoltre di grande interesse all'interno di questo modello l'idea che sia il compito a specificare di volta in volta la preponderanza di un senso su di un altro e dunque il loro modo di interagire. Heller, Calcaterra, Green, Brown (1999) costituisce un esempio di studio del rapporto tra tatto e visione teso a mettere in luce questo rapporto in compiti che richiedono minore o maggiore precisione. In una serie di esperimenti vengono create condizioni conflittuali tra vista e tatto (ad esempio inserendo lenti che rimpiccioliscono alla vista degli oggetti di varie dimensioni contemporaneamente toccati) e viene richiesto di fare valutazioni sulla misura degli oggetti visti e toccati, di volta in volta attraverso la modalità tattile o visiva; viene valutato inoltre il ruolo della vista della mano che tocca. I risultati indicano che, al contrario di quello che viene riportato tipicamente in letteratura (che si basa sul paradigma della discrepanza introdotto da Rock, Victor, 1964, dove si assume che i soggetti considerano di vedere e sentire lo stesso oggetto), non si può assumere che in caso di conflitto tra vista e tatto i soggetti tenderanno ad appoggiarsi all'informazione visiva. I soggetti possono spostare la loro "fiducia" sia verso la vista sia verso il tatto. In generale, la norma è quella di una collaborazione tra sensi: la dominanza visiva non è la norma, neanche in caso di discrepanza. Tuttavia la dominanza varia con la velocità e la precisione della misura della risposta. Le assunzioni sulla dominanza sensoriale sono dunque spesso delle semplificazioni di processi molto complicati, in cui entra in gioco la capacità di un senso di attrarre maggiormente l'attenzione, ma anche fattori affettivi, spaziali, cognitivi, legati al compito in corso.

Resta da capire come avviene che visione e tatto interagiscano nei casi in cui ambedue le modalità sensoriali sono coinvolte, senza conflitto, nella valutazione del peso di un oggetto; e perché uno stesso fenomeno illusorio (sopravalutazione del peso per un oggetto più piccolo) possa interessare due sensi considerati autonomi e differenti. Il modello dell'autonomia e dell'integrazione a livello solo rappresentativo in effetti fallisce nel rendere conto del modo esatto in cui l'interazione avviene, e soprattutto non rende conto delle ragioni per cui uno stesso fenomeno può presentarsi sotto due modalità differenti. Cercheremo di esporre queste due problematiche a partire dai fenomeni di arto fantasma, di illusioni tattili indotte da un'altra modalità, e di illusioni geometriche.

Le illusioni geometriche

Le illusioni geometriche sono state descritte in letteratura primariamente a proposito della visione: sono state dunque a lungo note come illusioni ottiche. La loro caratteristica principale è di essere evocate da patterns di linee bidimensionali, sia che l'illusione abbia a che fare con l'estensione, l'orientamento, la direzione o la forma del pattern in causa. I primi studi

sistematici sulle illusioni geometriche nella visione sono stati pubblicati da Opper, nel 1855, e le prime classificazioni risalgono al 1898 con Wundt (si veda Coren, Girgus, Erlichman, Hakstian, 1976); da allora un numero di studi superiore al migliaio è stato dedicato a illusioni come la orizzontale-verticale, Müller-Lyer, Poggendorff, Delboeuf, ...

Uno degli autori che più si sono occupati delle illusioni visive è R. Gregory (si veda Gregory, 1966). Gregory fornisce un modello generale dell'illusione basato sulla sua teoria della percezione come processo di inferenza a partire da dati, analogo al processo di formazione di ipotesi da parte dello scienziato sempre a partire da dati. Come lo scienziato compie una serie di passi che vanno dall'estrazione di dati a partire dai segnali emessi da strumenti necessariamente calibrati (i dati non sono mai forniti direttamente dagli strumenti), alla derivazione di fatti dai dati, grazie ad assunzioni e procedure di inferenza, alla generalizzazione dai dati, che rende possibile la predizione, al legame tra fatti e dati, grazie ad apposite descrizione e ipotesi che provvedono il tessuto logico, infine alla soluzione di ambiguità e paradossi e alla creazione di scoperte o invenzioni; allo stesso modo dunque un oggetto percepito è il risultato di una serie di inferenze che conducono dai segnali sensoriali ai dati, da questi ai fatti e alle generalizzazioni, con produzione di ipotesi che uniscono dati e fatti, risoluzione di ambiguità e paradossi, a creare una nuova percezione. Solo le ipotesi, le descrizioni possono essere distorte, ambigue, paradossali, mai i fatti del mondo. Gli eventi fisici sono o non sono: l'illusione tiene ai meccanismi percettivi dell'uomo e non al mondo. Essendo la percezione un'ipotesi percettiva fatta a partire da certi strumenti, il fenomeno dell'illusione percettiva deve essere concepito come un errore a livello o dei meccanismi fisici della percezione o delle strategie di inferenza che abbiamo nominato: ognuno di questi passi inferenziali (sono sette nella descrizione data in Gregory,) può fallire in qualche modo e condurre ad una percezione inappropriata. L'alternativa è tra illusioni meccaniche e illusioni cognitive, che riguardano la strategia per la formazione e la scelta delle ipotesi.

So we may summarize our position, by saying: Perceptions are hypotheses: illusions are misplaced hypotheses. Further, perceptual hypotheses may be misplaced, either because the (physiological) mechanisms mediating the hypothesis-generating strategies are malfunctioning; or because the (cognitive) hypothesis-generating strategies are inappropriate. (Gregory, 69)

I meccanismi fisiologici includono gli organi di senso (considerati come dei trasduttori per convertire gli stimoli dal mondo degli oggetti in segnali neurali), i detettori di strutture (i quali selezionano strutture specifiche dei patterns sensoriali come orientamento, angoli, movimento, ecc.), e i meccanismi di immagazzinamento, generalizzazione, classificazione dei dati. La distinzione delle illusioni tra illusioni di strategia e di meccanismo tiene al ruolo rivestito dalle assunzioni. In una illusione come la swi, quello che è importante secondo Gregory ad esempio è il fatto che esistano certe assunzioni sul rapporto tra grandezza e peso, mentre capire come il peso sia segnalato o quali meccanismi siano coinvolti nell'immagazzinare l'assunzione non è influente: è l'assunzione in se stessa, e l'inferenza (vera o falsa) tratta da essa che spiega completamente questo genere di illusioni. Se un'illusione non dipende da assunzioni, allora può essere classificata come un errore nei meccanismi fisiologici (inadeguatezza o inappropriata) o un effetto di adattamento di questi meccanismi. Così le after-images di luce o colore, gli after-effects di movimento (il fenomeno della cascata), gli oggetti caldi che sembrano freddi quando la mano è stata scaldata, i cambiamenti di colore dopo aver guardato una luce colorata, la posizione delle membra o il peso apparente di oggetti dopo aver portato qualcosa di pesante, sono tutti fenomeni illusori generati da un meccanismo di adattamento fisiologico a condizioni precedenti. L'effetto autocinetico, la falsa localizzazione di suoni quando c'è una contrastante informazione visiva, sono esempi di inadeguatezza dei meccanismi fisiologici. Il fenomeno Phi (movimento apparente tra due luci alternate), è un caso di inappropriata di un meccanismo altrimenti utile a evitare l'interruzione del movimento di oggetti quando questi passano dietro ad un oggetto o a causa delle interruzioni sulla retina rappresentate dai vasi, ecc. Le illusioni cognitive al contrario sono equivalenti al cattivo uso dei dati in scienza, e non ad un malfunzionamento degli strumenti: sono ipotesi fallite a livello del processamento dei dati (come nel caso della inappropriate constancy scaling), del fallimento nel derivare ipotesi (oggetti) dai patterns, della generalizzazione sulla base di leggi ingannatorie, del cattivo legame tra fatti e dati (come la swi), illusioni generate dall'ambiguità (ovvero all'esistenza di più descrizioni adeguate per uno stesso pool di dati, come nel caso dell'anatra-coniglio), da descrizioni paradossali (come per l'ambiguità, anche i paradossi non possono che risiedere nelle descrizioni, ovvero ipotesi, ma anche immagini create ad hoc, ma mai nel mondo degli oggetti).

Illusioni geometriche "classiche" come la Müller-Lyer o la Ponzo fanno parte dunque delle illusioni cognitive, in particolare di quelle dovute ad una elaborazione inadeguata dei dati a partire dai segnali. La strategia che fallisce in questo caso è dovuta al processo percettivo che permette di mantenere la costanza nella dimensione e forma degli oggetti al cambiare della distanza, cui possono essere riportate molte illusioni di distorsione. La teoria della Inappropriate constancy scaling affonda le sue radici nelle considerazioni fatte da Thiery nel 1896, secondo cui la prospettiva in immagini bidimensionali disturba la dimensione apparente, perché fa sembrare gli oggetti lontani più piccoli. Nel 1954, Tausch supponeva che la costanza di dimensione fosse coinvolta nelle illusioni. Nel 1963, Gregory riprende queste riflessioni e suggerisce una teoria che suppone in primo luogo che forma e dimensioni siano il risultato di processi di scala attivi e che questi processi di scala siano primariamente basati su degli stimoli di profondità (depth-cue scaling). Se dati in prospettiva o dati con dimensioni in scala, sono presentati in situazioni in cui non sono in effetti legati alla profondità, allora la strategia genera distorsioni di scala corrispondenti. E' il caso delle immagini o delle figure illusorie in cui sono presentate strutture marcatamente in prospettiva: la struttura bidimensionale dell'immagine e la prospettiva sono dunque le condizioni per la generazione di una serie di distorsioni percettive con figure geometriche.

La spiegazione di Gregory, tutta centrata su delle strategie tipiche della vista, è messa in difficoltà, almeno per le illusioni geometriche, dall'esistenza di corrispettivi tattili per molte delle illusioni ottiche geometriche. Già Revesz (1934) riportava il fatto che illusioni aptiche erano osservate per quasi tutte le figure che generano illusioni ottiche. Questi studi comparativi hanno continuato ad alimentare la letteratura sull'illusione, e a porre questioni sul rapporto tra tatto e visione.

Nel 1974, Over sostiene che la teoria puramente visiva di Gregory non può essere applicata alle illusioni geometriche aptiche, visto che in questa modalità lo spazio percepito non dipende primariamente da informazioni di profondità. A questo è stato replicato (si veda Frisby, Davies, 1971) che nell'illusione aptica potrebbe esserci una forma di transfert intermodale,

che coinvolgerebbe immagini visive: la percezione tattile verrebbe in questo modo a dipendere da immagini visive, e le illusioni che la riguardano non sarebbero autonome, ma mutate sulle strategie visive di elaborazione degli stimoli.

La spiegazione basata sul transfert intermodale non è convincente per due ordini di ragioni che esporremo di seguito, ma costituisce comunque un tentativo di soluzione per quello che si presenta come un problema empirico: come possono due modalità, supposte indipendenti, dare luogo agli stessi fenomeni illusori? La risposta di Gregory è condizionata dall'aver trovato la sua spiegazione a partire dalle illusioni ottiche, e quindi si traduce in un tentativo di estensione che non modifica la spiegazione iniziale; l'estensione avviene prefigurando un transfert tra modalità, il quale arriverebbe comunque ad un livello alto dell'elaborazione, ad immagini visive formate. Nonostante Klatzky e Lederman (1987) rifiutassero la dipendenza del tatto dalle immagini visive, anche le due autrici prefiguravano una interazione (e non un transfert) tra modalità "alta", al livello delle rappresentazioni.

I dati che più contrastano con l'approccio di Gregory sono di due tipi: in primo luogo, le illusioni geometriche si presentano nella modalità tattile anche in soggetti ciechi dalla nascita, in cui non possono essere invocate immagini visive; in secondo luogo, non tutte le figure che generano illusioni ottiche generano un corrispettivo tattile, il quale inoltre, in molti casi non presenta le stesse caratteristiche dell'illusione visiva.

Suzuchi, Arashida (1992) esamina l'esistenza di sette illusioni geometriche nella modalità tattile: Müller-Lyer, orizzontale-verticale (le due più studiate), Ponzo, Oppel-Kundt, Poggendorff, Delboeuf, Zöllner. I risultati indicano non solo che non esiste un correlato tattile della Delboeuf e della Poggendorff, ma che nella Oppel-Kundt la forma tattile è simile a quella visiva solo per il tatto attivo e non passivo, nella Zöllner la direzione dell'illusione nella forma tattile è opposta a quella nella forma visiva. Le corrispondenze valgono per le illusioni che riguardano l'estensione piuttosto che per quelle che hanno a che fare con forma e direzione. Per gli autori queste differenze stanno a significare un'indipendenza della forma tattile delle illusioni geometriche dalla forma visiva: come già visto a proposito dell'illusione del peso, le illusioni aptiche sembrano essere puramente tali e dipendere da meccanismi diversi dalle illusioni visive.

Anche per le illusioni che si presentano in modo sostanzialmente equivalente tra visione e tatto (a livello quantitativo) si possono dunque invocare meccanismi puramente tattili di spiegazione. È quello che avviene con l'illusione della verticale-orizzontale. L'illusione occorre quando la lunghezza di una linea verticale è percepita più lunga dell'orizzontale (le linee potendo essere disposte ad L o a T rovesciata) anche se la lunghezza fisica è la stessa. Day, Wong (1971) e Wong (1977) sostiene la tesi che gli errori di giudizio aptico dell'estensione sul piano orizzontale trovano la loro spiegazione specifica nella differenza tra movimenti radiali (che si allontanano dal corpo) e movimenti tangenziali (paralleli al corpo). I movimenti radiali essendo eseguiti ad una minore velocità, durano per un tempo più lungo e quindi sono stimati più lunghi di movimenti equivalenti di tipo tangenziale. Questo provoca la sopravvalutazione della linea verticale su quella orizzontale. Si tratta di un meccanismo che risiede dunque nelle caratteristiche del movimento, così come abbiamo già visto per il modello del tensore inerziale applicato alla swi. In effetti anche Wong si riferisce al tensore dell'inerzia, sostenendo che in ultima analisi con i movimenti rotazionali alla spalla, la resistenza offerta dall'arto all'accelerazione dipende non solo dalla massa, ma anche dalla sua distribuzione rispetto all'asse della spalla: più la massa è vicina alla spalla, più la rotazione è "facile". Poiché i movimenti radiali sono eseguiti con il braccio più distante dall'asse della spalla, il momento dell'inerzia è più grande in questa direzione, l'accelerazione del braccio e la sua velocità minori. Il ruolo rivestito dal momento dell'inerzia non è confermato da Marchetti, Lederman (1983), ma resta la considerazione sul tipo di movimenti eseguiti come caratteristica significativa dell'illusione nella modalità tattile.

Heller, Calcaterra, Burson, Green (1997) sottolineano che il problema principale coinvolto in questo dibattito è se il tatto obbedisca alle stesse leggi della visione, e che se gli effetti illusori sono diversi tra due modalità è necessario pensare a dei modelli capaci di rendere conto delle similitudini e delle differenze in termini di meccanismi, oltre che di ripensare le relazioni intermodali. L'articolo offre una panoramica sulle spiegazioni dell'illusione, ma focalizza l'attenzione sulle strategie di scanning: il fatto che l'illusione aumenti per oggetti grandi rispetto a quelli piccoli, indica il ruolo giocato da diverse procedure esplorative nella generazione dell'illusione: quando le forme sono più grandi sono coinvolti movimenti radiali ampi, quando le forme sono piccole possono essere usati movimenti che interessano solo la mano e il polso. L'esplorazione operata con l'intero braccio risulta in un impoverimento della prestazione, mentre per stimoli di 2,5 cm l'illusione non si presenta, dato che movimenti più piccoli al solo livello delle dita non producono effetti illusori. È dunque importante tenere sempre conto della strategia esplorativa utilizzata, e delle parti del corpo coinvolte.

Se tutto questo sembra testimoniare di ancora dell'autonomia dei meccanismi che regolano tatto e visione, non bisogna dimenticare che i problemi posti sono due: il primo se un solo tipo di meccanismi renda conto del funzionamento delle due modalità rispetto a certi compiti percettivi. La differenza fenomenologica tra le manifestazioni farebbe propendere per una differenza nei meccanismi, e testimonierebbe ulteriormente della particolare dipendenza del tatto dalle strategie esplorative e quindi dal movimento, mettendo nuovamente in discussione la distinzione tra proprio e esterocezione. Il presentarsi di fenomeni quantomeno analoghi spinge a cercare delle caratteristiche comuni dei due meccanismi. Easton, Srinivas, Greene (1997), in seguito ad una ricerca sulla percezione e memoria a breve e lungo termine di parole nelle modalità tattile e visiva, evidenziano una sostanziale identità ovvero un'assenza di effetti differenziali nelle prestazioni dovuti alla modalità; il risultato è interessante perché è in contrasto con studi analoghi che coinvolgono però l'udito e la visione, e quindi mostra una maggiore vicinanza rispetto a certi compiti tra tatto e visione che tra tatto e udito; la spiegazione data risiede nella maggiore similarità tra informazioni visive e tattili, ambedue di tipo geometrico, mentre le uditive sono di tipo fonologico.

Al di là dei meccanismi sottesi a processi visivi e tattili, o al tipo di informazione veicolata, resta secondo noi comunque da risolvere il problema delle interazioni tra le due modalità. In altri termini, sembra evidente che rispetto ai meccanismi debbano essere ricercati fattori di similitudine e di differenza e che a questo livello nessun confine netto possa essere tracciato. Altri fenomeni spingono però a ricercare se e soprattutto come, nella maggiore o minore indipendenza del tatto e della vista, le due modalità interagiscono e cooperano. Se fin qui il problema è stato quello di fare la stessa cosa, ma separatamente, adesso vogliamo porci il problema del fare la stessa cosa e insieme. Si tratta di un problema di binding, che

affronteremo non dall'angolo tradizionale della collaborazione di sensi diversi alla formazione di un percelto unico, ma da quella di un'altra illusione in cui tatto e visione interferiscono e si integrano: l'arto fantasma e le sue conseguenze per l'immagine che abbiamo del sistema nervoso centrale.

L'arto fantasma e lo specchio di Ramachandran

Quello dell'arto fantasma è un fenomeno descritto fin dal XVI secolo da A. Paré, ma che riceve la sua versione attuale e il suo nome da parte di Weir Mitchell nel 1871, come fantasma sensoriale che segue ad una amputazione. Per Lord Nelson, l'arto fantasma che aveva seguito la perdita del suo braccio destro costituiva una prova dell'esistenza dell'anima. In seguito l'arto fantasma ha interessato soprattutto gli psichiatri e gli psicoanalisti (Gallinek, 1939; Kolb, 1959-1966), ma anche filosofi come Merleau-Ponty (1962).

I pazienti con questa sindrome sperimentano un arto amputato come se fosse ancora presente, e in alcuni casi sentono dolore e crampi a livello dell'arto mancante. I pazienti che sperimentano l'arto fantasma (o il fantasma di un'altra parte del corpo come seno o visceri, anche se più raramente) dopo un'amputazione sono tra il 90 e il 98%; in molti casi questo scompare nel corso di pochi giorni o settimane, ma ci sono casi di persistenza fino a 44 o 57 anni. E' da notare che sono riportati anche casi di arto fantasma congenito, in soggetti aplasici dlla nascita. In un 50% dei casi, nella fase di indebolimento del fantasma, questo non svanisce in intero, ma si riduce progressivamente, finché il paziente non si ritrova con la sola mano fantasma, direttamente attaccata al moncone. Solitamente l'arto fantasma è riportato occupare una posizione "abituale"; molti pazienti riportano anche la capacità di muovere l'arto, volontariamente e involontariamente. E' importante notare che in tutti questi casi il paziente riconosce che la sensazione non è veritiera, e che quindi sta sperimentando un'illusione. Come abbiamo già visto più volte, la conoscenza dello stato delle cose non cambia il fatto di vivere un'illusione.

Non ci interesseremo qui all'illusione dell'arto fantasma in generale, sulla quale esiste una vasta letteratura (per la quale si veda Ramachandran, Hirstein, 1998; Melzack, 1992, Sunderland, 1978; Henderson, Smith, 1948; Cronholm, 1951), ma ad un fenomeno di integrazione visuo-tattile messo in luce da V. S. Ramachandran (direttore del Center for Brain and Cognition, University of San Diego) nel corso di alcuni tentativi di risoluzione della componente dolorosa del fantasma, e delle conseguenze che lo studio di questa illusione ha sulla concezione del sistema nervoso centrale come di qualcosa di stabilmente diviso in mappe con compiti specifici.

Alcuni pazienti sperimentano movimenti involontari dell'arto fantasma, ad esempio come se le unghie si conficcassero nel palmo della mano; questi pazienti trovano in seguito difficile muovere volontariamente l'arto per arrestare la sensazione, che è fortemente dolorosa. E' come se il fantasma fosse paralizzato, in seguito ad una sorta di apprendimento della paralisi. Questo ha condotto Ramachandran (si veda Ramachandran, Rogers-Ramachandran, 1996) a cercare dei mezzi per sbloccare la paralisi e far avvertire al paziente un movimento nell'arto fantasma tale da liberarlo dalla sensazione dolorosa. A questo scopo ha creato quella che chiama la "virtual reality box". La scatola è costruita inserendo uno specchio verticale in una scatola di cartone senza tappo. Il lato frontale della scatola ha due fori attraverso i quali il paziente inserisce il "braccio buono" e il braccio fantasma, di modo che può guardare il riflesso della mano normale nello specchio, il che crea l'illusione di vedere due mani. Se a questo punto il paziente invia un comando motorio, ambedue le mani eseguono movimenti simmetrici, e il paziente può vedere la propria mano fantasma compiere un movimento che risponde al comando. In assenza completa di feedback propriocettivo e tattile è la vista a fornire il feedback per il controllo del movimento (come nel caso del paziente con sindrome da deafferenziazione). Viene riportato il caso di alcuni pazienti sottoposto a questo esperimento, i quali hanno confermato l'esistenza di movimenti volontari nella mano fantasma riflessa, i quali scompaiono fuori dalla virtual reality box (eliminando inoltre l'ipotesi di effetto placebo grazie a diversi accorgimenti). Si riporta però anche il caso di apprendimenti a lungo termine, con scomparsa progressiva dell'arto fantasma in seguito all'utilizzo di questo semplice dispositivo. Ramachandran si interroga anche sul fatto che accanto al feedback visivo possono sussistere quello propriocettivo dell'arto controlaterale e i comandi motori dell'arto sano. Questa ipotesi è scartata in seguito ad esperimenti in cui la mano del paziente è sostituita con la mano guantata dello sperimentatore, a produrre un'immagine fantasma: anche in questo caso i pazienti sentono i movimenti dell'arto fantasma anche senza inviare nessun comando motorio. Non solo, ma con lo stesso accorgimento, solo con lo sperimentatore che appoggia la mano sul dorso invece che sul palmo, senza farsi accorgere del cambiamento, si possono far sperimentare al paziente posizioni impossibili nella mano fantasma, come una flessione dorsale delle dita che supera l'escursione articolare anatomica (si veda per analogia il caso delle posizioni impossibili avvertite in certi casi di stimolazione vibratoria dei tendini). Questo vuol dire che non solo la stimolazione propriocettiva (con effetto sui fusi neuromuscolari) può indurre illusioni di posizione degli arti, ma anche una stimolazione visiva. In altre parole: in certe condizioni, anche la sola apparenza visiva può indurre dolore, sensazioni di movimento, percezione di posizione degli arti fino a posizioni che non possono essere contenute in memoria. Questo ci porta a due considerazioni: la prima, che l'immagine del corpo è in realtà un fenomeno meno stabile di quanto non si creda, che al contrario dipende dalle sensazioni locali che si danno via via, e che è pronta a ridefinirsi in base a queste; la seconda considerazione riguarda l'esistenza di moduli separati per l'elaborazione delle informazioni sensoriali, come dice lo stesso Ramachandran, Rogers-Ramachandran (1996): " This result flatly contradicts the view held by the A. I. community that the brain is composed of a number of autonomous "modules" that sequentially perform various "computations" on the sensory input. "(383) Se non altro questo risultato mette in dubbio l'eshaustività del resoconto dell'attività tattile e visiva dato da Klatzky e Lederman nel loro modello di autonomia completa fino ad una integrazione finale a livello delle rappresentazioni. E' necessario arrivare ad un modello che, oltre che rendere conto delle capacità del tatto, sia anche tale da assumere l'esistenza di fenomeni di interferenza sensoriale tra visione e tatto come quello riportato, di interferenza tra tatto e udito e di sostituzione intersensoriale.

Per quel che riguarda l'interferenza tatto-udito citiamo il caso riportato da DiFranco, Beauregard, Srinivasan (1997), in cui viene esaminata, in ambiente virtuale e con l'utilizzo di un'interfaccia aptica a 6 gradi di libertà (PHANToM), l'influenza del suono sulla percezione aptica della durezza di superfici virtuali. Il risultato indica che, quando la durezza fisica delle superfici

è la stessa, i soggetti ordinano il livello di durezza delle superfici in base al suono: ad esempio, superfici accoppiate con suoni tipicamente associati alla durezza, sono percepite come più dure.

La sostituzione intersensoriale è stata studiata in particolare da Bach-y-Rita e i suoi colleghi. Citando Gibson, Bach-y-Rita (in J. Proust, 199, cap. III) sostiene che esiste un aspetto comune dell'attività percettiva, ed è grazie a questo che è possibile utilizzare l'informazione veicolata da canali sensoriali diversi per estrarre le medesime proprietà invarianti dell'oggetto. In diversi articoli (citati nel capitolo cui ci riferiamo), Bach-Y-Rita e colleghi hanno descritto un dispositivo di sostituzione visuo-tattile per ciechi (SVTC) che raccoglie le immagini ottiche attraverso una videocamera, per poi tradurle in una forma di energia compatibile col sistema tattile, ovvero in stimolazioni vibratorie o stimolazioni elettriche dirette. In questo modo sono i recettori della pelle a inviare l'informazione che però ha un'origine ottica; è per questo che si può dire che il cieco vede col tatto. Sembra in effetti che, dopo un certo allenamento, i soggetti ciechi riportino di percepire l'immagine così proiettata non sulla pelle, ma direttamente nello spazio, e apprendano a esercitare giudizi tipicamente visivi come quelli sulla prospettiva, la parallasse, la profondità.

Infine vogliamo citare l'esistenza di cellule bimodali descritte recentemente da Graziano, Yap, Gros (1994): nella corteccia parietale risiedono cellule che possiedono campi recettivi visivi e tattili sovrapposti sulla mano. Potrebbe essere questa la base fisiologica per l'effetto ottenuto dagli stimoli visivi sull'arto fantasma.

Al di là delle basi neurali, il cui studio e la cui individuazione resta a parer nostro fondamentale in queste problematiche a carattere empirico, le considerazioni tratte dal lavoro di Ramachandran e da altri studi sugli effetti intersensoriali, sembrano testimoniare dell'esistenza di effetti di integrazione e interferenza che contrastano con l'idea che i "moduli" della visione e della propriocezione siano separati e interagiscano solo ad un livello "cognitivo". Secondo Ramachandran dobbiamo abbandonare la visione modulare del cervello a favore di un modello più interattivo e dinamico, ovvero avvicinarci al modello del funzionamento cerebrale per circuiti rientranti proposto da Edelman (1993) ed abbandonare i modelli computazionali segregazionisti (del tipo di quelli di Fodor, aggiungiamo noi).

Le considerazioni che veniamo di riportare fanno parte in effetti di una teoria più generale del funzionamento del sistema nervoso centrale. Quello che colpisce negli studi riportati sopra è in effetti la tremenda labilità delle connessioni cerebrali, anche in un cervello adulto, ovvero il suo livello di plasticità. Vogliamo esporre brevemente questa idea perché, oltre a interessare modelli della mente in generale, ha delle conseguenze, come abbiamo visto, sulla concezione del rapporto tra sensi, a partire dal fatto che critica la descrizione di mappe corticali sensoriali segregate e stabili.

Ramachandran, Hirstein (1998) affronta il fenomeno dell'arto fantasma in quanto esemplare della riorganizzazione cerebrale che avviene in seguito ad una perdita sensoriale: nuove connessioni emergono che cambiano le mappe precedentemente stabilite con un "rimappaggio" che non corrisponde più alla geografia cerebrale disegnata a partire da Penfield (il rimappaggio è testimoniato nel cervello della scimmia come dell'uomo da studi magnetoencefalografici). Prendiamo un caso clinico. Il paziente V. Q. in seguito ad un incidente stradale si vede amputare il braccio sinistro sopra il gomito, il quale si "trasforma" in arto fantasma telescopico (una mano attaccata direttamente al moncone). Quando vari stimoli tattili e di leggera pressione sono applicati nella parte sinistra bassa della faccia il soggetto riporta la sensazione contemporaneamente al livello della faccia stimolata e, con una corrispondenza punto per punto, a livello delle dita della mano fantasma. Una goccia d'acqua calda posta sul viso si fa sentire prontamente anche sulla mano fantasma, sempre come calda, manifestando dunque l'esistenza di una specificità per le modalità sensoriali tattili, che non vengono confuse. Ma quello che è più interessante è il formarsi, peraltro molto rapido (a breve distanza dall'amputazione) di una mappa sensoriale tattile a livello del viso che corrisponde ai punti dell'arto fantasma. Ramachandran, appoggiandosi appunto agli studi neurofisiologici condotti con varie tecniche di imaging, sostiene da queste evidenze l'esistenza di una plasticità cerebrale del cervello adulto estremamente importante, che conduce il tessuto nervoso corticale adiacente a occupare le aree rimaste "sguarnite" perché l'afferenza è venuta a mancare. In particolare, la sua opinione è che delle connessioni "occulte" vengano "smascherate" (piuttosto che pensare all'avvento di un vero e proprio sprouting, che richiederebbe più tempo), ovvero che delle sinapsi sotto soglia vengono riattivate. Questa ipotesi ha conseguenze importanti non solo per la conoscenza del sistema nervoso, ma anche per le applicazioni in caso ad esempio di danno cerebrale. In generale, costituisce un invito a continuare a guardare alle illusioni aptiche in quanto fonti di stimoli per la riflessione sulla percezione e sulla natura dei processi cerebrali in generale.

BIBLIOGRAFIA DELLA TERZA PARTE.

Bell, C. (1826), On the nervous circle which connects the voluntary muscles with the brain, Philosophical transactions of the Royal Society, 116, 163-173.

Bell, C. (1836), The hand: Its mechanism and vital endowments as evincing design, London, Pickering.

Berthoz, A. (1997), Le sens du mouvement, Paris, Editions Odile Jacob.

Burgess, P. R., Clark, F. J., Simon, J., Wei, J. Y. (1982), Signaling of kinesthetic information by peripheral sensory receptors, Annual Review of neuroscience, 5, 171-187.

- Clark, F. J., Horch, K. W. (1986), Kinesthesia, in K. Boff, L. Kaufman, J. Thomas (Eds.), Handbook of perception and human performance, vol I, New York, Wiley.
- Cole, J, Paillard, J. (1995), Living without touch and peripheral information about body position and movement: studies with deafferented subjects, in J. L. Bermudez, A. Marcel, N. Eilan, Eds., The body and the self (pp. 245-266), Cambridge, MA, MIT Press.
- Cole, J. (1995), Pride and a daily marathon, Cambridge, MA, MIT Press.
- Cordo, P., Gurfinkel, V. S., Bevan, L., Kerr, G. K. (1995), Proprioceptive consequences of tendon vibration during movement, *Journal of neurophysiology*, 74 (4), 1675-1688.
- Coren, S., Girgus, J. S., Erlichman, H., Hakstian, A. R. (1976), An empirical taxonomy of visual illusions, *Perception & psychophysics*, 20 (2), 129-137.
- Craske, B. (1977), Perception of impossible limb position induced by tendon vibration, *Science*, 196: 71-73.
- Craske, B., Kenny, F. T., Keith, D. (1984), Modifying an underlying component of perceived arm length: adaption of tactile location induced by spatial discordance, *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 10, 307-317.
- Cronholm, B. (1951), Phantom limb in amputees, *Acta Psychiatrica, Neurological Scandinavian Supplement*, 72, 1-310.
- Davis, K. D. , Kiss, Z. H., Luo, L., Tasker, R. R., Lozano, A. M., and Dostrovsky, J. O. (1998), Phantom sensations generated by thalamic microstimulation, *Nature*, 391: 385 - 387.
- Day, R.H., Wong, T.S. (1971), Radial and tangential movement directions as determinants of the haptic illusion in an L figure, *Journal of Experimental Psychology*, 87 (1): 19-22.
- DiFranco DE, Beauregard GL, and Srinivasan MA, The effect of auditory cues on the haptic perception of stiffness in virtual environments, DSC-Vol. 61, Proceedings of the ASME Dynamic Systems and Control Division, Ed. G. Rizzoni, pp. 17-22, ASME, 1997.
- Easton, R. D., Srinivas, K., Green, A. J. (1997), Do vision and haptic perception share common representation? Implicit and explicit memory within and between modalities, *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, 23, 153-163.
- Edelman, G. M. (1993), The remembered present, New York, Basic Books.
- Eklund, G. (1969), Influence of muscle vibration on balance in man, *Acta societatis medicorum upsaliensis*, 74: 113-117.
- Eklund, G. (1971), Some physical properties of muscle vibrators used to elicit tonic proprioceptive reflexes in man, *Acta societatis medicorum upsaliensis*, 76: 271-280.
- Eklund, G. (1972), Position sense and the state of contraction; the effects of vibration, *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 35: 606-611.
- Eklund, G., Hagbarth, K.-E. (1966), Normal variability of tonic vibration reflexes in man, *Experimental neurology*, 16: 80-92.
- Ellis, R. R., Lederman, S. J. (1993), The role of haptic versus visual volume cues in the size-weight illusion, *Perception & Psychophysics*, 53 (3): 315-324.
- Ellis, R.R., Lederman, S. J. (1998), The "golf-ball" illusion: Evidence for top-down processing in weight perception, *Perception*, 27(2), 193-202.
- Ellis, R. R., Lederman, S. J. (2000), Anticipatory effects underlie the golf-ball illusion, *Golf Research News, World Scientific Congress of Golf Trust*, 1 (3), 18-23.
- Fitzpatrick, P., Carello, C., Turvey, T. M. (1994), Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense", *Neuroscience*, 60 (2): 551-568.
- Flor, H. and several others, (1995), Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature* 375: 482 - 484.

- Frisby, J.P., Davies, I.R., Is the haptic Mueller-Lyer a visual phenomenon?, *Nature*, 1971 Jun 18; 231 (5303): 463-465.
- Garrett, S., Pagano, C., Austin, G, Turvey, M. T. (1998), Spatial and physical frames of reference in positioning a limb, *Perception & psychophysics*, 60, 1206-1215.
- Goodwin, G. M., McCloskey, D. I., Matthews, P. B. C. (1972), A systematic distortion of position sense produced by muscle vibration, *Journal of physiology (London)*, 1972.
- Goodwin, G. M., McCloskey, D. I., Matthews, P. B. C. (1972), Proprioceptive illusions induced by muscle vibration: contributions by muscle spindles to perception?, *Science*, 175: 1382-1384.
- Goodwin, G. M., McCloskey, D. I., Matthews, P. B. C. (1972), The contribution of muscle afferents to kinaesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralysing joint afferents, *Brain*, 95: 705-748.
- Goodwin, G. M., McCloskey, D. I., Matthews, P. B. C. (1972), The persistence of appreciable kinesthesia after paralysing joint afferents but preserving muscle afferents, *Brain Research*, 37: 326-329.
- Granit, R. (1955), *Receptors and sensory perception*, New Haven, CT, Yale University Press.
- Graziano, M. S. A., Yap, G. S., Gross, C. (1994), Coding of visual space by premotor neurons, *Science, Wash.*, 266, 1051-1054.
- Gregory, R. L. (1963), Distortion of visual space as inappropriate constancy scaling, *Nature*, 119, 678.
- Gregory, R. L. (1966), Optical illusions, *Nature*, Jan. 15; 209 (20): 328.
- Gregory (1973),
- Heller, M.A., Calcaterra, J.A., Burson, L.L., Green, S.L. (1997), The tactual horizontal-vertical illusion depends on radial motion of the entire arm, *Perception and psychophysics*, 59 (8): 1297-1311.
- Heller, M. A., Calcaterra, J. A., Green, S. L., Brown, L (1999), Intersensory conflict between vision and touch: the response modality dominates when precise, attention-riveting judgements are required, *Perception & psychophysics*, 61 (7): 1384-1398.
- Henderson, W. R., Smyth, G. E. (1948), Phantom limbs, *Journal of neurology, neurosurgery and psychiatry*, 11, 88-112.
- Jones, L. A. (1988), Motor illusions: what do they reveal about proprioception? *Psychological bulletin*, 103, 72-86.
- Klatzky, R., Lederman, S. J., Reed, C. (1987), There's more to touch than meets the eye: The salience of object attributes for haptics with and without vision, *Journal of Experimental Psychology: General*, 116 (4), 356-369.
- Lackner, J. R, Taubvler, A. B (1984), Influence of vision on vibration-induced illusions of limb movement, *Experimental neurology*, 85, 97-106.
- Lederman, S. J., Klatzky, R. L. (1987), Hand Movements: A Window into Haptic Object Recognition, *Cognitive Psychology*, 19 (3): 342-368.
- Lederman, S.J., Klatzky, R.L. (1997). Relative availability of surface and object properties during early haptic processing, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23 (6), 1680-1707.
- Marchetti, F. M., Lederman, S. J. (1983), The haptic radial-tangential effect: Two tests of Wong's "moments-of-inertia" hypothesis, *Bulletin of the Psychonomic Society*, 21 (1): 43-46.
- Matthews, P. B. C. (1982), Where does Sherrington's "muscular sense" originate? *Muscles, joints, corollary discharges? Annual review of neuroscience*, 5, 189-218.
- McCloskey, D. I. (1978), Kinesthetic sensibility, *Psychological Review*, 58, 763-820.
- Melzack, R. (1992), Phantom limbs, *Scientific American*, 266, 120-126.
- Merleau-Ponty, M.
- Over, R., Haptic illusion and inappropriate constancy scaling, *Nature*, 1967 May 6; 214 (88): 629.
- Pagano, C. C., Garrett, S., Turvey, M. T. (1996), Is limb proprioception a function of the limbs' eigenvectors? *Ecological psychology*, 8, 43-69.

- Pagano, C. C., Turvey, M. T. (1995), The inertia tensor as a basis for the perception of limb orientation, *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 21, (5): 1070-1087.
- Pagano, C. C., Carello, C., Turvey, M. T. (1996), Exteroception and exproprioception by dynamic touch are different functions of the inertia tensor, *Perception & psychophysics*, 58 (8): 1191-1202.
- Ramachandran, V. S. (1996), Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society London*, 263, 377-386.
- Ramachandran, V. S. (1998), Perception of phantom limbs. (D. O. Hebb lecture), *Brain*.
- Ramachandran, V. S., & Blakeslee, S. (1998). *Phantoms in the Brain*. William Morrow, N.Y.
- Révész, G (1934), System der optischen und haptischen Raumtauschungen, *Zeitschrift für Psychologie*, 131: 292-375.
- Révész, G., (1950), *The psychology and the art of the blind*, London, Longmans Green.
- Rothwell, J. C., Traub, M. M., Day, B. L., Obeso, J. A., Thomas, P. K., Marsden, C. D. (1982), Manual motor performance in a deafferented man, *Brain*, 105, 512-542.
- Sacks, O. (1986), *L'uomo che scambiò sua moglie per un cappello*, Milano, Adelphi.
- Sherrington, C. (1906), *The integrative action of the nervous system*, New Haven, CT, Yale University Press.
- Sherrington, C. (1906), *The integrative action of the nervous system*, New Haven, CT, Yale University Press.
- Sunderland, S. (1778), *Nerves and nerve injuries*, Edinburgh, Churchill Livingstone.
- Suzuki K. and Arashida R. (1992), Geometrical haptic illusion revisited: Haptic illusion compared with visual illusion, *Perception and Psychophysics*, 52 (3): 329-335.
- Turvey, M. T. (1998), Dynamics of effortful touch and interlimb coordination, *Journal of biomechanics*, 31 (10), 873-882.
- Wong, T. S. (1977), Dynamic properties of radial and tangential movements as determinants of the haptic horizontal-vertical illusion with an L figure, *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 3 (1): 151-164.

APPENDICE 2

La Persona Cieca

Che cosa significa essere ciechi? Al fenomeno della cecità diamo diverse accezioni, a seconda che il punto di vista sia quello legislativo, sociologico, psicologico, pedagogico, ecc...

Tutte le diverse accezioni concorrono a descrivere il fenomeno, ma è lo specifico dell'ottica pedagogica che ha il compito di definire la realtà della persona cieca, nella sua interezza e complessità; l'integrazione reciproca di queste diverse accezioni vorrebbe restituire al cieco il suo essere persona, non come portatore di deficit, ma come individuo avente caratteristiche proprie.

La pedagogia cerca di considerare la persona cieca sotto tutti i punti di vista. Ne prendiamo in considerazione alcuni, cercando di farne sintesi.

Un piccolo esperimento: ma che cosa "vede" un cieco?



Copiate questo disegno su un foglio bianco, e ponete la croce e il pallino ad una distanza di circa dieci centimetri l'uno dall'altro. Tenendo il foglio parallelo al vostro viso, ad una distanza di circa quaranta centimetri, chiudete l'occhio sinistro; quindi con il destro fissate la croce, senza mai distogliere lo sguardo. Aggiustate lentamente la distanza del foglio dal vostro viso, finché vedrete il pallino nero sparire dal vostro campo visivo. Che cosa è successo?

Quando il pallino sparisce, avete proiettato la sua immagine in una zona della retina, detta "zona cieca" o "macchia cieca", dove i vari neuroni retinici si convogliano per dare origine al nervo ottico. La macchia cieca, grande all'incirca come la capocchia di uno spillo, è così denominata

perché è insensibile alla luce. Questo corrisponde, da un punto di vista neurologico, all'esperienza della cecità.

Ma voi vedete bianco, o il motivo dello sfondo del foglio su cui è posto il disegno, tanto che la stessa esperienza funzionerebbe anche con sfondi di colore diverso: per cui il cieco non vede “tutto nero”, come si sarebbe portati a pensare.

Il cieco non vede nero, in quanto non vede... nulla! La cecità è prima di tutto una condizione mentale, non solo sensoriale: allo stesso modo, la visione è un fenomeno molto complesso, che non si limita solo alla capacità di discriminare stimoli luminosi, ma è per sua natura un processo intelligente.¹

La mente interpreta gli stimoli luminosi, e gli conferisce significato; secondo questa logica, anche l'assenza di stimolo viene interpretata: la mente non può accettare la mancanza arbitraria di uno stimolo, e attribuisce significato a ciò che percepisce in base a quanto vi è di disponibile dall'esterno.

Quindi, l'assenza di stimolo viene “coperta” con quanto si trova presente come condizione di sfondo, sulla base di un'inferenza statistica ed esperienziale: equivale ad affermare che “se tutto il contesto è fatto così, anche il particolare non percepito deve essere coerente al contesto”, anche qualora dovesse risultare palesemente falso. Queste distorsioni e falsità percettive sono lo specifico della cecità come handicap, dove ciò che non si percepisce viene considerato come assente, cioè come non esistente.

Giova ricordare, per quanto inquietante, che questi “momenti di cecità” costellano diversi momenti della nostra giornata, per quanto il fenomeno sia inconsapevole: l'evoluzione naturale ha fatto in modo che le due macchie cieche delle nostre due retine siano poste in posizione disassata e non parallela, in modo che almeno un occhio per volta percepisce lo stimolo visivo, ma non è sempre così, anzi.

L'esempio quotidiano, alla portata di tutti, lo si ha quando siamo alla guida della nostra automobile: vi succede mai di effettuare un cambio di corsia, per la strada e, essendovi sincerati dallo specchietto retrovisore sinistro che la corsia fosse libera, dopo un attimo sentire un bellicoso colpo di clacson proprio di fianco a voi?

¹ L'evoluzione naturale per specie fornisce ogni essere vivente del regno animale di un diverso modo di vedere, a seconda di quali parametri l'adattamento e la selezione naturale abbiano imposto a determinate forme animali, per la loro sopravvivenza. Alcune esemplificazioni molto efficaci si trovano nel testo della zoologa autistica Temple Grandine *La macchina degli abbracci* – Ed. Adelphi, Milano 2005, in cui sono spiegate con molta efficacia le modalità di visione intelligente da parte di alcuni tra i più noti animali domestici, dal cane al gatto, alla mucca, al cavallo.

Le superfici degli specchietti retrovisori delle automobili non sono piane, ma paraboliche, anche se con una distanza focale molto ampia; da parte loro, le retine degli occhi sono altresì superfici curve, nella forma geometrica di ellissi². Oltretutto, l'osservazione dello specchietto retrovisore sinistro dell'automobile comporta una visione laterale deputata in parte all'occhio sinistro, la cui ampiezza visiva è in parte distorta dalla sovrapposizione di effetti delle due curvature, mentre quella dell'occhio destro è condizionata... dalla presenza del nostro naso! E tutto questo accade perché a pochi guidatori viene in mente di ruotare la testa quando osservano dallo specchietto.

Il risultato di questi parametri determina, nella visione riflessa allo specchio, una vera e propria zona cieca, i cui effetti nella visione cosciente sono stati esperiti attraverso il semplice ma efficace gioco fatto secondo le indicazioni della pagina precedente. Temple Grandine chiama questo fenomeno *cecità da disattenzione*³, che sta alla base di numerosi incidenti, dal domestico a quelli più gravi. Da notare che esiste anche l'omologo sensoriale relativo all'udito, nei termini di una vera e propria *sordità selettiva, o da disattenzione*, con analoghi risultati.

Una metafora: si comprende con buona approssimazione la realtà del cieco pensando ad un mosaico.

Il mosaico è un'immagine che si compone di molte tessere, fino a che il loro accostarsi armonico produce un'immagine completa. L'artista musivo ha chiaro il disegno che deve completare ancor prima della sua esecuzione: in tal modo lo può anticipare. Il cieco ha invece un lavoro molto più arduo, per quanto simile.

Il cieco manca, per sua natura, del "colpo d'occhio" che permette di cercare, in una visione immediata e generale del mondo, la ricerca del particolare. Il nostro sistema visivo permette una ricerca di tipo deduttivo, dal generale al particolare.

Il cieco, per converso, percepisce sensorialmente molti particolari (molte tessere del mosaico), che gli provengono da sensazioni uditive, cinestesiche, tattili, termiche, olfattive, gustative, ma senza avere ancora chiaro il quadro di riferimento. Egli è come un mosaicista che cerca di comporre il disegno senza il modello, ma il modello si crea mano a mano che raccoglie le informazioni, e le sistema in modo coerente. Il suo modo di ragionare è squisitamente induttivo, dalla somma indifferenziata dei particolari, al generale.

Il cieco lavora contemporaneamente su due complessi livelli logici, quello della raccolta delle informazioni, e quello della scelta e collocazione delle informazioni importanti, scartando quelle

² Comunemente si parla di "bulbo oculare", quasi a richiamare la sfera, ma la forma dell'occhio è leggermente ovoidale

³ Grandine, T., *La macchina degli abbracci* – Ed Adelphi Milano, 2005

inutili o ridondanti, e collocando correttamente quelle necessarie e sufficienti per crearsi un'immagine coerente.

Questo processo non è immediato, ma è appreso e costruito attraverso adeguata educazione, che nei ciechi congeniti dovrebbe iniziare prima possibile. Vi è una grande differenza tra le persone che nascono cieche da quelle che lo diventano successivamente: chi perde la vista dopo il terzo anno di vita percepisce “visivamente” il mondo, e si crea del mondo delle vere e proprie immagini. Il cieco congenito si crea comunque delle “immagini”, ma in un’accezione più ampia del termine, non di tipo visivo, ma di sintesi degli altri sensi. In entrambi i casi, nel bambino cieco è necessario iniziare con l’educazione corporea e al movimento, come prima esplorazione del mondo.

Il bambino cieco lasciato a sé stesso non impara perché non esplora. Non può imparare ad esplorare spontaneamente, perché per lui il mondo in cui è immerso è un caos indistinto, caratterizzato da stimoli che non sa ricondurre alla loro origine: hanno la valenza di un vuoto confuso. Ma impara presto che i suoni possono essere ripetuti e vocalizzati, si tratti di musiche, di parole, o di semplice rumore. Questa ripetizione meccanica dà origine ad un handicap indotto nei ciechi, chiamato “verbalismo”, consistente nella capacità di riprodurre suoni e parole anche molto complessi, ma decontestualizzati e vuoti di significato.

In questa fase dello sviluppo, l’educazione corporea è di fondamentale importanza: la prima educazione strutturata del cieco parte dal proprio corpo e dalla relazione del corpo con lo spazio circostante. Il corpo diventa la misura dello spazio, il corpo permette, nella relazione con lo spazio, di stabilire nessi di causalità tra le azioni che egli compie e gli effetti che queste sortiscono. L’esplorazione non è spontanea, perché l’assenza della vista riduce la curiosità e la motivazione al movimento: il movimento esplorativo del bambino cieco deve essere strutturato e indotto; è un prerequisito fondamentale.

In tal modo, proprio come nella metafora delle tessere del mosaico, i diversi elementi dello spazio che egli percepirà con gli altri sensi produrranno un insieme che nel tempo diventa strutturato, familiare e dotato di senso.

Da un punto di vista didattico alcuni accorgimenti vanno adottati, affinché il bambino cieco possa trovare nello spazio gli stimoli sensoriali che sostituiscono lo stimolo visivo; nella scuola materna, ad esempio, è importante che i grandi spazi, che spesso costituiscono le aule comuni, posseggano degli elementi che permettono l’orientamento. Uno stratagemma semplice e poco invasivo, ad esempio, è la collocazione di una radio accesa nei pressi della porta dell’aula: permette al bambino di avere un riferimento costante rispetto alla propria collocazione nello

spazio, e di trovare la porta d'accesso qualora ne abbia bisogno, senza che l'adulto sia costantemente presente ad accompagnarlo.

Altra buona norma è che gli oggetti d'uso comune vengano posizionati, per quanto possibile, sempre nella stessa posizione: un oggetto fuori posto per noi può essere solo noioso disordine, ma per il bambino cieco, che non lo può ritrovare nello spazio se non a prezzo di enormi e penosi sacrifici, può rappresentare la mancanza di un punto di riferimento fondamentale. Già entro l'anno di vita il bambino normosensoriale percepisce che gli oggetti possono spostarsi e cambiare posizione, pur mantenendo la loro stessa funzione (la cosiddetta "invarianza funzionale" di Piaget); ma per il bambino cieco questa relazione di invarianza è niente affatto scontata, e il non trovare un elemento nello spazio, nel luogo ove per lui aveva significato, porta immediatamente a percepirne la sola assenza.

L'ordine, nell'educazione del bambino cieco, è un criterio importantissimo da tenere presente sempre, al punto che anche il disordine "deve essere progettato". Un corretto giudizio di realtà si basa sul criterio che, ovviamente, gli oggetti sono passibili di movimento, spontaneo o indotto: il bambino cieco deve essere educato a questa possibilità, creando *ad hoc* delle situazioni in cui i medesimi oggetti siano posti in luoghi diversi, e il bambino sia stimolato a cercarli. Per lui è la scoperta di quell'invarianza funzionale, che si consolida scoprendo che il medesimo elemento può assumere posizioni diverse, pur non perdendosi e non perdendo la sua natura; diversamente, il mondo per il bambino cieco diventerebbe costituito da una relazione distorta e patologica del "tutto o nulla", nella quale se un elemento non si trova, automaticamente viene dato per non esistente.

Al di là delle singole strategie educative, delle quali ogni buon insegnante di scuola dell'infanzia può essere un buon ideatore, una volta compresa la realtà del bambino cieco, il criterio principe da considerare è quello di evitare il più possibile l'iperprotettività, troppo spesso imperante quando si abbia a che fare con bambini disabili sensoriali. È ovvio che il sacro dovere dell'insegnante, come di chiunque faccia educazione, è la prevenzione dei fattori di rischio e degli eventi potenzialmente o realmente pericolosi. Ma all'interno di questi criteri, non deve costituire problema grave qualche graffio o qualche sbucciatura, specie se originata in qualche avvincente e significativo evento ludico con i coetanei: l'iperprotezione è troppo ipocrita per essere giustificata come salubre, e certamente non fa crescere.

Il bambino cieco che impara a muoversi autonomamente nello spazio si costruisce i concetti topologici e logici fondamentali, che gli permettono di stabilire delle relazioni di causa/effetto. Impara ad apprendere gli elementi del proprio schema corporeo che gli evitano stereotipie, e che gli consentiranno, da adolescente, di avere un rapporto corretto con gli altri.

La padronanza del proprio corpo, e del corpo nello spazio, sono il primo elemento che permette la conoscenza diretta del reale. Su questa conoscenza si basa poi la costruzione astratta; non è possibile la simbolizzazione dell'apprendimento se non vi è prima una solida esperienza diretta. Sarebbe a dire: tutta la scolarizzazione del cieco si basa su un corretto e solido rapporto con il proprio corpo, e del proprio corpo con l'ambiente. Diversamente, ogni apprendimento astratto poggia sul nulla. Nella fase pro-sociale dello sviluppo, e poi specialmente nella preadolescenza e adolescenza, tale approfondimento è fondamentale: l'apprendimento non è solo nozione astratta, ma à l'altro da sé, la competenza che permette il vivere sociale.

Le peculiarità di preadolescenza e adolescenza sono ancora legate all'esser nati ciechi, o di trovarsi in una fase di perdita degenerativa o progressiva. Questa è l'età del corpo che cambia, e del periodo in cui si sviluppa la rete sociale delle amicizie e dei rapporti con il genere complementare. Chi sta subendo una perdita degenerativa ha spesso la sensazione e la frustrazione di sentirsi handicappato: il confronto con il periodo in cui la vista era ancora funzionale dà spesso il vissuto di essere un disabile, di non poter fare le cose che fanno gli altri, di non sentirsi accettato, se non per un senso di pietismo. Sorte un po' più "spensierata", anche se non di molto, ce l'ha chi vive la cecità congenita, poiché è una caratteristica connaturata del proprio essere, manca il confronto con un "prima" che era diverso e forse vissuto come migliore. Esistono per quest'età molte possibilità ed eventi di aggregazione specifiche per ciechi, che hanno però una doppia valenza: se da un lato condividere la stessa sorte con altre persone simili fa sentire il peso del deficit un po' meno gravoso, dall'altro c'è il rischio che tali aggregazioni diventino l'unico rifugio sicuro, mettendo a serio repentaglio l'integrazione con tutte le persone.

Particolare è la sfera della sessualità: chi vive in modo preponderante la frustrazione di sentirsi diverso va incontro a un temporaneo periodo di isolamento, che sarà rotto soltanto quando altre componenti personali, come l'autonomia e l'autostima, pareggeranno il senso di inferiorità. D'altro canto, il non dover dipendere ed il non essere attratti da canoni estetici di tipo visivo consente al cieco di instaurare un rapporto molto più centrato e solido sulla relazione umana, che non sugli ordinari canoni di bellezza.

Menzione, breve ma specifica, merita l'ambito della pluriminorazione.

Gli "addetti ai lavori" di solito dicono che, nei ciechi pluridisabili, le difficoltà non sono sommate, ma moltiplicate. Se alcuni processi evolutivi sono difficili di per sé per la persona che sia solo priva della vista, nel caso di cecità associata ad altre patologie sensoriali, motorie o neuropsichiche

ne fanno quasi uno scoglio insormontabile. Per chi è animato da intenti riabilitativi o semplicemente relazionali è opportuno non improvvisare, per non rischiare di bruciare sul nascere un rapporto che poi sarebbe difficile da ricostruire. Questa considerazione non vuole andare a solo favore degli esperti, ma desidera semplicemente stimolare quelle riflessioni a priori che devono essere fatte, per non creare ulteriori disagi proprio in chi ci si propone di avvicinare.

APPENDICE 3

Per una possibile bibliografia ragionata¹

Per gli appassionati della ricerca storica che amano ritrovare nel passato le radici del presente, segnaliamo la bibliografia tiflogica storica associativa più significativa, estrapolata dalle riviste

- "Il Mentore dei ciechi" 1884 edito a cura della Società Tommaseo con sede in Firenze, Piazza S. Maria Novella n.17;
- "L'Amico dei ciechi" 1885-1920 edito a cura della Società Tommaseo fino al 1892 e successivamente dalla Società Nazionale Margherita - Eretta in Ente Morale con Regio Decreto 21 ottobre 1901, la quale nel 1893 aveva annesso la Società Tommaseo;
- "Argo" 1929-1943 edito a cura dell'Unione Italiana Ciechi, sede centrale di Firenze, Via Robbia n.38A. Con legge n.566 del 1° maggio 1930 è stata approvata la fusione della Società Margherita con la Sede Centrale dell'UIC.

C. B.

Valentino Haüy

In: Il Mentore dei Ciechi, 1884: (VII), n.4, pp.1-6

Barbi Adriani, Dante

Relazione del viaggio da Firenze a Parigi

In: Il Mentore dei Ciechi, 1884: (VII), n.9, pp.1-6; n.10, pp.1-8; n.11, pp.1-8. 1885: (VIII), n.1, (L'Amico dei Ciechi), pp.2-5; n.2, pp.9-12

Vitali, Luigi

Breve relazione intorno all'Istruzione dei ciechi in Italia

In: L'Amico dei Ciechi, 1884: (VIII), n.9, pp.69-72

Considerazioni sul modo di educare e d'impiegare i ciechi

In: L'Amico dei Ciechi, 1885: (VIII), n.7, pp.53-56

Vitali, Luigi

L'educazione dei ciechi a Parigi

In: L'Amico dei Ciechi, 1886: (IX), n.16, pp.25-26; n.17, pp.33-37; n.18, pp.41-44; n.19, pp.49-50

¹ A cura dell'Unione Italiana Ciechi

Vitali, Luigi

La vita dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1886: (IX), n.20, pp.57-59; n.21, pp.65-68; n.22, pp.73-75; n.23, pp.83-85; n.24, pp.89-94; 1887, n.26, pp.9-11; n.27, pp.17-18; n.28, pp.27-28; n.31, pp.52-54.

La causa dei ciechi e dei sordomuti alla camera

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1887: (X), n.31, pp.49-52

Della possibilità e dei modi di estendere a tutte le Regioni d'Italia l'istruzione dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1887: (X), n.32, pp.62-63; n.33, pp.67-69; n.34, pp.76-78; n.35, pp.84-85; n.36, pp.92-93; 1888: (XI), n.37, pp.3-5; n.39, pp.19-20.

C.B.

Laura Bridgman

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1888: (X), n.37, pp.6-8

L'intuizione, fondamento di tutto l'insegnamento per i ciechi.

(Dal tedesco E. Gaschen Consolo)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1889: (XII), n.51, pp.17-19

De La Sizeranne, Maurice

L'insegnamento della musica per i ciechi la sua origine, il suo scopo, le sue esigenze, il suo programma ed i suoi risultati.

Memoria presentata al VI Congresso dei Direttori degli Asili pei Ciechi, tenuto in Colonia nel 1888.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1889: (XII), n.53, pp.37-38; n.56, pp.59-62; n.57, pp.67-68; n.58, pp.76-78.

C. B.

Elena Keller

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1890: (XIII), n.63, pp.20-22

Il vero progresso dell'istruzione dei ciechi.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1890: (XIII), n. 68, pp.57-58

R.C.

Il Dottor Armitage

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1891: (XIV), n.73, pp.1-5

Barbi - Adriani, Dante

Società Margherita di Patronato pei ciechi in Italia

In: *L'Amico dei Ciechi* 1891: (XIV), n.74, pp.9-11

Peruzzi, Ubaldino

Dei mezzi di diffondere l'educazione dei giovani ciechi. L'asilo Sant'Ilario a Parigi.

(Estratto dagli annali della Carità del 30 settembre 1847)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1891: (XIV), n.82, pp.73-76; n.83, pp.81-83

Il settimo Congresso dei ciechi a Kiel

(sintesi delle relazioni)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1891: (XIV), n.83, pp.83-84; n.84, pp.91-93.

Barbi - Adriani, Dante

Terzo Congresso Nazionale per l'istruzione dei ciechi (Napoli, 15-18 maggio 1892)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1892: (XV), n.89, pp.33-36; n.90, pp.41-48; n.91, pp.49-52

I ciechi di Colloro

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1893: (99), pp.17-19

Dufour Marco

Conferenza sulla Fisiologia dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1893: (XVI), n.103, pp.51-54

Sul matrimonio dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1893: (XVI), n.104, pp.57-59

Sui difetti particolari dei ciechi e sulla loro origine

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1893: (XVI), n.105, pp.65-67

Il memoriale dei ciechi presentato al Governo

Di Cavallacci e Dante Soliani

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1894: (XVII), n.110, pp.33-35

Barbi-Adriani, Dante

Scuole preparatorie

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1894: (XVII), n.112, pp.49-51; n.113, pp.57-59

Resoconto delle Conferenze tenute in Losanna nell'occasione delle Feste Giubbilari dell'Asilo dei Ciechi in Losanna.

(Sintesi delle relazioni):

- Sécretan, Teodoro: La pedagogia dei ciechi, suo scopo, suoi metodi, suoi risultati.

- Giulbau, di Parigi: Tavolette da scrivere per i ciechi

- De La Sizeranne: Relazione

- Martuscelli, Domenico: Sulla necessità di raccogliere i fanciulli ciechi in tenera età e di creare per essi, giardini d'infanzia

- Dufour, Marco: Influenza del progresso scientifico e sociale sul numero dei casi di cecità.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1894: (XVII), n.113, pp.59-63

L'educazione dei fanciulli ciechi a un tempo e sordomuti in America.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1895: (XVIII), n.115-116, pp.9-11

Tuffreau, Joséphine

Il linguaggio dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1895: (XVIII), n.123-124, pp.59-62

Considerazioni sul linguaggio e sulle idee che può formarsi il cieco

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1895: (XVIII), n.125-126, pp.65-67

Levi, Maria

Relazione dell'ottavo Congresso dei Maestri dei ciechi. Monaco di Baviera 6-8 agosto 1895

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1896: (XIX), n.127, pp.1-5; n.128, pp.9-11

I ciechi in Oriente

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1897: (XX), n.140-141, pp.13-14

Eram, Armando

Necessità d'un metodo e d'unità nell'istruzione dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1897: (XX), n.144, pp.33-35

Hall, S.

Le professioni per i ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1897: (XX), n.148, pp.65-67

Eram, Ermando

I ciechi e le arti

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1897: (XX), n.150, pp.83-85

Eram, Armando

La condizione giuridica dei ciechi in Italia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1898: (XXI), n.155, pp.36-37

Vitali, Luigi

L'istruzione dei sordomuti e dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1898: (XXII), n.157, pp.52-54

Maurizio De La Sizeranne e le sue opere

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1899: (XXIII), n.170, pp.58-59; n.171, pp.65-67; n.172, pp.73-75; n.173, pp.81-83; 1900: (XXIV), n.175, pp.4-7; n.176-177, pp.9-11; n.178, pp.22-23; n.179, pp.29-31; n.180, pp.41-42; n.181, pp.45-48

D.T.

Giovanni Milton

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1899: (XXIII), n.174, pp.89-91

Niccolò Tommaseo

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1900: (XXIV), n.175, pp.1-4

Landriani, Pietro

Congresso Internazionale pel Miglioramento delle condizioni dei ciechi. A Parigi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1900: (XXIV), n.182, pp.54-63; n.183, pp.65-72; n.184, pp.73-80; n.185, pp.81-88

Lepri, Augusto

Che cosa domandano i ciechi all'odierna società. Conferenza tenuta in Roma alla sala "Umberto I" il 21 febbraio 1900

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1901: (XXV), n.188, pp.912; n.189, pp.17-20

Il IV Congresso nazionale per il miglioramento delle condizioni dei ciechi. Milano 29 maggio 1901 (Sintesi delle relazioni)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1901: (XXV), n.192, pp.41-46

De Veras, E.

La stampa e i ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1901: (XXV), n.195, pp.65-69; n.196, pp.73-75

Giglioli Casella, Costanza

Un nostro desiderio esaudito.

Con R.D. 21 ottobre 1901, la Società "Margherita di Patronato pei Ciechi in Italia, è stata costituita in Ente morale.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1901: (XXV), n.197, pp.81-83

Landriani, Pietro

Tutela della prima infanzia. Prevenzione della cecità.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1901: (XXV), n.197, pp.84-87

Vignali, Giulia

L'educazione dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1901: (XXV), n.198, pp.89-94;

1902: (XXVI), n.199, pp.97-103; n.200, pp.105-109; n.201, pp.113-117; n.202, pp.121-125; n.203, pp.129-133; n.204, pp.137-141; n.205, pp.145-149; n.206, pp.153-159; n.207, pp.161-164; n.208, pp.169-174; n.209, pp.177-182; n.210, pp.185-188;

1903: (XXVII), n.211, pp.193-198; n.212, pp.201-204.

Voti emessi dal Congresso Internazionale di Bruxelles

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1902: (XXVI), n.208, pp.174-175; n.210, pp.189-190.

Neuschüler, Alfonso

Sulla condizione giuridica del cieco in Italia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.212, pp.205-206

Trombetta, Edmondo

Il fenomeno percettivo nei neoveggenti

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.215-216, pp.221-226; n.217, pp.233-235; n.219-220, pp.241-246.

I ciechi in Egitto

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.215-216, pp.231-232

Ansaldi, Luigi

La psicologia di un cieco

Prefazione di Pasquale Villari

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.219-220, pp.246-248; n.221, pp.257-264; n.222, pp.265-270; n.223, pp.273-274;

1904: (XXVIII), n.224, pp.281-283.

Allegri, Clelia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.219-220, pp.248-252

La scienza e la cecità

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.222, pp.270-272

De Veras, E.

La questione dei ciechi in Spagna

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), pp.275-277

Cart, Teofilo

L'esperanto e i ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1903: (XXVII), n.223, pp.277-279

De Veras, E.

I ciechi e l'insegnamento

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1904: (XXVIII), n.225, pp.289-291

Cottet, Alessandro

I ciechi e la civiltà. Conferenza tenuta il 25 novembre 1903 nella sala dell'Ateneo di Ginevra

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1904: (XXVIII), n.226, pp.297-299; n.227-228, pp.305-312

Salis, Francesco

Brevi cenni storici sull'Istituto pei ciechi in Cagliari

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1904: (XXVIII), n.229-230

Monnier, J.J.

I Ciechi nella Svizzera

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1904: (XXVIII), n.232-233, pp.341-349

Cammeo, Bice

Elena Keller

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.237-238, pp.373-374

La laurea del cieco Augusto Romagnoli

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.239-240, pp.391-392

Vento, Domenico

Quod est quod erit

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.241-242, pp.397-400

Il massaggio esercitato dai ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.241-242, pp.400-403

De Candol, A.P.

Huber, Francesco. Notizie sulla vita e gli scritti.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.243-244, pp.409-418

Guilbeau, E.

Abbozzo di Tiflopedagogia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.245, pp.421-426

Kunz, M.

Fisiologia dei ciechi. Il vicariato dei sensi.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.247, pp.437-440; 1906: (XXX), n.248, pp.448-452
n.249, pp.456-459; n.250, pp.461-464

C.P.

Guglielmo Prescott

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1905: (XXIX), n.247, pp.443-444

Rossi, Giovanni

Esempi e confronti (Istruzione)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.248, pp.445-448; n.249, pp.453-456; n.260, pp.464-468.

Augusto Romagnoli (Note biografiche)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.249, pp.459-460

Eram, Armando (Note biografiche)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.250, p.468.

Maillefer, G. (Diretrice e fondatrice dell'Institution Normande pour les aveugles idiots à Ecublens presso Losanna)

L'educazione dei ciechi d'intelligenza debole.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.252, pp.481-482

Sterheim, F.

Primo Congresso Internazionale per la educazione e la protezione dell'infanzia nella famiglia.
Liegi, settembre 1905

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.252, pp.483-484

Villey, Pierre

Alcune parole sulla situazione dei ciechi in Toscana.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.254-255, pp.493-498

Introduzione alla educazione dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.254-255, pp.499-504

Anagnos, Michele

Una istituzione liberale e ciò che maggiormente abbisogna ai ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.256, pp.509-513

I ciechi in famiglia

Relazione presentata dalla Società Nazionale "Margherita" di Patronato pei ciechi al secondo
Congresso Internazionale d'Educazione familiare. Milano, settembre 1906.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.257-258, pp.517-526

Il Congresso di Roma

V Congresso di Tiflogia. Roma 1° dicembre 1906. (Programma)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1906: (XXX), n.257-258, pp.526-528

Cronaca del Congresso di Roma

V Congresso di Tiflogia. Roma 1° dicembre 1906. (Sintesi delle relazioni)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1907: (XXX), n.259-260, pp.529-540

Landriani, Pietro

Ricerca e studiare i mezzi più acconci per rendere l'istruzione e l'educazione data ai ciechi negli Istituti, utile, pratica e vantaggiosa quando i ciechi alla loro uscita si trovano di fronte alle aspre lotte per l'esistenza. Conseguentemente definire e regolare i rapporti che devono esistere fra la Società Nazionale Margherita di Patronato pei Ciechi e gli Istituti medesimi.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1907: (XXX), n.261-262, pp.549-563

Vento, Domenico

Necessità dei giardini d'infanzia pei bambini ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1907: (XXX), n.264, pp.573-577

Léon, Albert

Penjon. Un professore cieco del secolo XIX

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1907: (XXX), n.269, pp.613-619

Il Congresso esperantista di Cambridge

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1907: (XXX), n.270, pp.621-622

Andriani, Ada

L'educazione di una sordo-muta e cieca (Helen Keller)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1907: (XXX), n.271, pp.629-636; 1908: (XXXI), n.272, pp.637-643; n.273, pp.645-652.

A.M.

L'educazione dei ciechi negli Stati Uniti d'America (Istituto Perkins)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.274, pp.653-658

Maillefer, G.

Istituzione per ciechi e deficienti in Ecublens presso Losanna

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.275, pp.664-666

Maurizio de la Sizeranne

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.275, pp.666-667

L'Istituto dei ciechi di Carmen Sylva

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.276, pp.669-670

Louis Braille

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.276, p.673

Grossi Mercanti, Onorata

La scuola-laboratorio per i ciechi in Siena

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.277, pp.677-679

I ciechi in Grecia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.277, pp.679-680

Thulin, A.

I ciechi in Svezia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.278, pp.685-686

Congresso internazionale pel miglioramento della condizione dei ciechi. Napoli, 30 marzo, 3 aprile 1909 (Comunicazione)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.278, p.688

Rossi, Giovanni

La musica ed i lavori manuali dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.279, pp.693, pp.696

Il Congresso Internazionale di Napoli. Napoli 30 marzo - 3 aprile 1909. Temi e sintesi delle relazioni.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.280, pp.707-708; n.281, pp.711-713; 1909: (XXXII), n.288-289, pp.765-779

Thévenin, J.

La casa dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), p.282, pp.721-723

Le Biblioteche circolanti pei ciechi

Relazione presentata dalla Società Nazionale Margherita di patronato pei ciechi al 1° Congresso delle Biblioteche Popolari tenutosi in Roma dal 6 al 9 dicembre 1908.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1908: (XXXI), n.283, pp.725-730

Kunz

Il senso di orientazione ed il senso della distanza dei ciechi e dei ciechisordi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1909: (XXXII), n.286, pp.752-755; n.287, pp.757-761.

Pesci, Ugo

Gli "Urbein" di Bologna

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1909: (XXXII), n.291-292, pp.789-799

Guilbeau, Edgard

Pierre Villey

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1909: (XXXII), n.291-292, pp.800-802

Albertoni-Tagliavini, Silvia

Luce dell'anima

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1909: (XXXII), n.293, pp.805-808

La macchina Constançon

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1909: (XXXII), n.294, pp.813-817

Thevenin, F.

Il massaggio come professione pei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1909: (XXXII), n.295, pp.821-827

Dixon, Walter H.

I ciechi nella Gran Bretagna

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910: (XXXIII), n.296-297, pp.829-834

Le idee di luce e di colore nei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910, (XXXIII), n.296-297, pp.834-838

Tiflogia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910: (XXXIII), n.302, pp.869-875

Pestelli, Pietro

Cassa di Previdenza pei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910: (XXXIII), n.303, pp.877-880

Il Congresso esposizione di Parigi. Sintesi delle relazioni.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910: (XXXIII), n.304, pp.885-890

Yosimoto, Tadasu

Notizie vecchie e nuove intorno ai ciechi nel Giappone

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910: (XXXIII), n.305, pp.896-898

Landriani, Pietro

Il Convegno dei ciechi e il Congresso di Bologna. Sintesi delle relazioni.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1910: (XXXIII), n.306-7-8, pp.901-923

Il Congresso Internazionale del Cairo

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1911: (XXXIII), n.310, pp.933-936

Grimaldi, Carlo

L'obbiettivo principale nel campo d'azione in pro dei ciechi

Relazione presentata al VI Congresso Nazionale dei ciechi, Bologna 1910.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1911: (XXXIII), n.311, pp.941-948; n.312, pp.949-956

Ghidoni, Abele

Vantaggi portati ai ciechi dallo studio delle scienze naturali

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1911: (XXXIII), n.316-317, pp.980-988

Landriani, Pietro

I fanciulli ciechi nelle scuole primarie dei veggenti

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1911: (XXXIII), n.318, pp.989-995

Per gli organisti ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1911: (XXXIII), n.319, pp.997-998

Elias, Ferruccio

Redenzione dei ciechi per mezzo dell'istruzione e del lavoro

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.320, pp.1005-1009; n.321, pp.1013-1016

Martha

L'udito nei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.321, pp.1016-1018

Franchi, Arrigo

Un'occupazione proficua pei ciechi. Le conversazioni in lingua straniera

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.322, pp.1021-1024

Romagnoli, Augusto

Il Carducci e un musicista

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.322, pp.1024-1027

Boscagli, Zenobia

I fanciulli ciechi nelle scuole primarie dei veggenti

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.324, pp.1037-1042; n.329, pp.1077-1079; n.330, pp.1090-1092, n.331, pp.1097-1098.

Elias, Ferruccio

Le istituzioni per ciechi in Svizzera. Impressioni e note di viaggio.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.325, pp.1045-1049; n.326, pp.1053-1058.

Airaghi, Carlo

Giovanni Gonelli detto il cieco da Gambassi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.329, pp.1080-1082

Semmola, Giuseppe

Un nobile discorso del Comm. Semmola al Consiglio Comunale di Napoli.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.330, pp.1085-1090

Chiselle, Luciano

Ciechi poeti

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1912: (XXXIII), n.331, pp.1093-1097; n.332, pp.1101-1108.

Thevenin, Jacqueline

Tommaso Rhodes Armitage la sua vita e le sue opere

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1913: (XXXIV), n.334-335, pp.1117-1127

Chiselle, Luciano

Il cieco nel romanzo e nella vita

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1913: (XXXIV), n.336, pp.1133-1137; n.337, pp.1141-1144; n.338, pp.1154; n.339, pp.1157-1162.

Hébert, Marcel

L'idea di Dio nei sordomuti ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1913: (XXXIV), n.337, pp.1146-1147

Occhetti Crippa, Bice

Stenografia ad uso dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1913: (XXXIV), n.341, pp.1173-1184.

Bargellesi, Guglielmo

I ciechi e lo studio della lingua esperanto

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1913: (XXXIV), n.343, pp.1193-1195

Chiselle, Lucien

Le confraternite dei Ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.346, pp.1221-1224

Experto

Un esperimento

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.347, pp.1225-1231.

L'esperanto e i ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), pp.348, pp.1233-1236

Chiselle, Luciano

L'Opera di Valentin Haüy

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.349, pp.1241-1245

Elias, Ferruccio

Abbozzo di tiflogia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.350, pp.1249-1255

Mahaut, Alberto

Rivelazioni interessanti. (Sintesi della relazione all'Assemblea della Società di collocamento e di soccorso pei ciechi)

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.351, pp.1257-1262

Fedora, Nella

Impressioni e deduzioni

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.354, pp.1281-1283

Tancredi, Raffaele

Il Congresso Internazionale Esperantista di Parigi. Peripezie di due ciechi.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1914: (XXXV), n.354, pp.1283-1284

L'Istituto pei ciechi di Steglitz presso Berlino

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.357, pp.1309-1312

Experto

Scrittura e stampa pei Ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.359, pp.1325-1330

Società pro cultura degli insegnanti ciechi italiani

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.360, pp.1333-1337

Pei soldati colpiti agli occhi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.361, pp.1341-1344

Lavedan, Enrico

Gli occhi perduti. Traduzione di Amedeo Orefici

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.362, pp.1249-1351

I soldati inglesi accecati in guerra

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.362, pp.1352-1354

I soldati ciechi in Francia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.363, pp.1357-1364

I soldati colpiti agli occhi in Italia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.364-365, pp.1365-1368

Proposte di nuove occupazioni pei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1915: (XXXVI), n.366, pp.1377-1380

Fabietti, E.

La rieducazione dei soldati ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.368, pp.1393-1398

I massatori ciechi e la guerra

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.368, pp.1399-1400

Montorgueil, George

Una polemica

I - Come scriveranno i nostri ciechi

II - Salviamo dal Braille i nostri soldati ciechi

III - I ciechi della guerra vogliono che noi leggiamo i loro scritti

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.369, pp.1401-1406; n.370, pp.1409-1414; n.371, pp.1417-1421

Alcuni dati del Censimento dei ciechi italiani dell'anno 1911

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.369, p.1408

Romagnoli, Augusto

La rieducazione dei nuovi ciechi. Relazione al Convegno Nazionale in Roma delle opere di educazione popolare.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.370, pp.1415-1416

Vignand, Jean

La scuola di massaggio pei soldati ciechi in Parigi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.371, pp.1421-1423

Experto

Un colpo d'occhio ad alcune istituzioni

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.372, pp.1425-1429

Pietrani, Rinaldo

Soliloqui

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.373, pp.1433-1436; n.374-375, pp.1441-1445

I soldati ciechi e l'agricoltura

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.374-375, pp.1446-1448; n.376, pp.1455-1456

Intorno all'educazione dei giovani ciechi in America

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.377, pp.1461-1463

Ciechi e sordomuti nel censimento governativo del 1911

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.377, pp.1464-1468

Romagnoli, Augusto

Prima uomini, poi operai! Per la rieducazione dei ciechi della guerra.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.378, pp.1469-1473

Falsa-riga e guida-mano Lusvardi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1916: (XXXVII), n.378, pp.1473-1475

Guilbeau, Edgard

Maurizio de la Sizeranne ed i ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1917: (XXXVIII), n.380-381, pp.1485-1494

Villey, Pierre

Il lavoro intellettuale dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1917: (XXXVIII), n.382, pp.1497-1502; n.383, pp.1505-1509; n.384, pp.1513-1520

Pacha, Eloui

I ciechi in Egitto. Compito del Governo e della società

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1917: (XXXVIII), n.385, pp.1525-1530

L'Istituto pei Ciechi in Reggio Emilia dal 1910 al 1918

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1917: (XXXVIII), n.387, pp.1549-1554

Romagnoli, Augusto

Società pro Coltura degli insegnanti ciechi italiani

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1917: (XXXVIII), n.387, pp.1555-1556

Il lavoro professionale libero dei ciechi italiani

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.388, pp.1561-1563

Enrico Fawcet. Le vie della luce. Un cieco Ministro delle Poste e telegrafi.

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.388, pp.1563-1566

Romagnoli, Augusto

Impiego dei ciechi nei telefoni

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.388, pp.1563-1566

Franceschini, Giovanni

Occhi, oculisti, superstizioni e cure d'Arabia

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.389, pp.1573-1578

Il nostro censimento dei ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.389, pp.1582-1583

Romagnoli, Augusto

Dopo undici mesi di esperienza nella Direzione di Villa Aldobrandini

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.390, pp.1585-1590; n.391, pp.1597-1604

Cane, Pietro

Per i ciechi di guerra. Premesse e deduzioni d'ordine psicologico e sociale

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.390, pp.1590-1594

Per i militari ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.392, pp.1609-1614

Senza rieducazione

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.392, pp.1615-1617

Echi del Congresso di Bologna

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1918: (XXXIX), n.392, pp.1617-1620

Statuto della Società Nazionale Margherita di Patronato pei Ciechi

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1919: (XL), n.394, pp.1634-1638

Il Congresso di Genova

In: *L'Amico dei Ciechi*, 1920: (XLI), n.396, pp.1655-1661

Bentivoglio, Paolo

La meta

In: *Argo*, 1929: (I), n.1, pp.15-17

La nemica

In: *Argo*, 1929: (I), n.2-3, pp.25-27

Romagnoli, Augusto

Il congresso dei ciechi a Vienna

In: *Argo*, 1929: (I), n.4-5, pp.30-32

Poggiolini, Oreste

Quello che abbiamo fatto al pre-congresso internazionale della cecità

In: *Argo*, 1929: (I), n.2-3, pp.1-4

Daffra, Teobaldo

Errore o verità?

In: *Argo*, 1930: (II), n.2, pp.13-15

Soleri, Ernesto

Il lavoro e l'impiego dei ciechi coi vedenti

In: *Argo*, 1930: (II), n.2, pp.26-29, n.4, pp.29-33

Salvaneschi, Nino

Eugenio Malossi - maestro cieco sordomuto e senza odorato

In: *Argo*, 1930: (II), n.3, pp.1-3

De Filippo, Domenico

La parola a un amico del Malossi

In: *Argo*, 1930: (II), n.3, pp.3-7

Cimatti, Leone

I ciechi hanno i sensi residui più sviluppati dei vedenti?

In: *Argo*, 1930: (II), n.3, pp.17-19

Poggiolini, Oreste

La conferenza mondiale sulla cecità e l'opera della delegazione italiana

In: *Argo*, 1931: (III), n.2-3, pp.2-7

Romagnoli, Augusto

Sintesi della relazione presentata alla conferenza mondiale sulla cecità, sul problema educativo (New York 13-17 aprile 1931)

In: *Argo*, 1931: (III), n.2-3, pp.11-12

Nicolodi, Aurelio

Sintesi della relazione presentata alla conferenza mondiale sulla cecità, sul problema del lavoro (New York 14-17 aprile 1931)

In: *Argo*, 1931: (III), n.2-3, pp.12-14

Poggiolini, Oreste

Il trionfo di una volontà

In: *Argo*, 1932: (IV), n.1, pp.1-4

Scultori ciechi - Ernesto Masuelli

In: *Argo*, 1932: (IV), n.3, pp.3-6

Salvaneschi, Nino

Scultori ciechi - Filippo Bausola

In: *Argo*, 1932: (IV), n.3, pp.6-9

Romagnoli, Augusto

I ciechi dell'evangelo

In: *Argo*, 1932: (IV), n.4, pp.27-28

Soleri, Ernesto

La situazione estera rispetto al problema della cecità

In: *Argo*, 1933: (V), n.1, pp.28-31; n.2, pp.28-32; n.3, pp.22-24; n.4, pp.27-30; 1934: (VI), n.1, pp.27-29; n.2, pp.28-30; 1935: (VII), n.1, pp.26-29; n.2, pp.30-31; 1936: (VIII), n.2, pp.28-29; n.3, pp.16-18; n.4, pp.16-18; 1937: (IX), n.1, pp.30-32; n.3, pp.29-32; 1938, (X), n.1, pp.35-40; 1939: (XI), n.1, pp.25-26; n.2, pp.30-33

Salvaneschi, Nino

Pierre Villey

In: *Argo*, 1933: (V), n.4, pp.10-12

Prandi, Adriano

Di alcuni rapporti fra l'architettura e la musica

In: *Argo*, 1935: (VII), n.1, pp.5-7

Brossa, Giovanni

La vita di relazione del cieco attraverso il senso degli ostacoli

In: *Argo*, 1936: (VIII), n.1, pp.7-11.

Bonvino, Angelo

Di una pretesa speciale psicologia del cieco

In: *Argo*, 1937: (IX), n.2, pp.7-13

Lovisetto, Ettore

Augusto Romagnoli educatore dei ciechi

In: *Argo*, 1937, (IX), n.2, pp.18-19

Poggiolini, Oreste

L'opera svolta a Firenze per i ciechi d'Italia dal 1868 a oggi

In: *Argo*, 1938: (X), n.2, pp.3-14

Loffredo, Antonio

Echi del Convegno dei Ciechi e Sordomuti. L'art. 410 del Codice Civile e l'Educazione dei minorati.

In: *Argo*, 1940: (XII), n.1, pp.1-3

Guilbeau, Edgard

Luigi Braille

Traduzione di G. Fabbri

In: *Argo*, 1940: (XII), n.1, pp.10-13

Bartoli, Francesco

Nel mondo dei ciechi. Gli invidiosi nel purgatorio dantesco.

In: *Argo*, 1940: (XII), n.1, pp.20-24

Nicolodi, Aurelio

A proposito dell'auspicata soluzione del problema dei ciechi

In: *Argo*, 1940: (XII), n.2, pp.1-5

Romagnoli Coletta, Elena

Sabina: miracolo dell'amore e dell'educazione

In: *Argo*, 1940: (XII), n.2, pp.6-8

Motti, Uriele

Francesco il Bello detto "Il cieco da Ferrara"

In: *Argo*, 1940: (XII), n.2, pp.9-11

Stoppani, Pietro

Auspicata soluzione del problema dei ciechi

In: *Argo*, 1940: (XII), n.3, pp.9-16

Rigatti, Gioconda

L'insegnamento della storia dell'arte nelle scuole professionali per cieche

In: *Argo*, 1940: (XII), n.3, pp.22-25

Calabi, Giuseppe

Grandezza morale nel regno dell'ombra e del silenzio

In: *Argo*, 1940: (XII), n.4, pp.23-26

Silenzi, Antonietta

I ciechi e i colori

In: *Argo*, 1940: (XII), n.4, pp.26-28

Romagnoli, Augusto

Guida dei ciechi a S. Paolo

In: *Argo*, 1941: (XIII), n.1, pp.3-6

Salvaneschi, Nino

Il miracolo di Padre Giovanni Principe. L'Istituto Serafico di Assisi

In: *Argo*, 1941:(XIII), n.1, pp.3-6

Cappa, Innocenzo

"I ciechi uomini tra gli uomini"

In: *Argo*, 1941: (XIII), n.1, pp.22-24

Capri, Antonio

Il cieco degli organi

In: *Argo*, 1941:(XIII), n.2, pp.8-13

Ghedini, G.

Pietro Stoppani

In: *Argo*, 1941:(XIII), n.2, pp.14-16

Fornasa, Ettore

Luigi Bottazzo

In: *Argo*, 1941: (XIII), n.3, pp.3-4

Scopel, Giacomo

Aspetti della vita di relazione

In: *Argo*, 1941: (XIII), n.3, pp.5-9

Pontani, Icaro

Il pianista Alberto Mozzati

In: *Argo*, 1941: (XIII), n.3, pp.10-11

Micheletti Pais, Pio

Un medico cieco

In: *Argo*, 1941: (XIII), n.4, pp.14-16

Nicolodi, Aurelio

Ciechi che lavorano

In: *Argo*, 1942: (XIV), n.1, pp.3-5

Bargellini, Piero

Piero della Francesca e i ciechi

In: *Argo*, 1942: (XIV), n.1, pp.5-7

Neri, Gabriella

Su Giovanni da Gambassi

In: *Argo*, 1942: (XIV), n.3, pp.3-6

Micheletti Pais, Pio

Un educatore modello

In: *Argo*, 1942: (XIV), n.3, pp.9-11

Silenzi, Antonietta

Il cieco di Pontremoli

In: *Argo*, 1943: (XV), n.1, pp.7-9

Anzovino, Costantino

Coscienza della cecità

In: *Argo*, 1943: (XV), n.3, pp.9-11

Silenzi, Antonietta

I ciechi di Dante e i nostri

In: *Argo*, 1943: (XV), n.4, pp.4-6

Soleri, Ernesto

Pierre Villey

In: *Argo*, 1943: (XV), n.4, pp.6-9

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Non vedo perché, la rappresentazione cinematografica della cecità*, Milano, ED. Mondadori, 2003, pp 165
- AA.VV. (a cura del CNR), *Ricerca sulle tecnologie e metodologie innovative per l'integrazione de disabile visivo*, Santelli ed., Cosenza, 1995
- AA.VV., *Abitare senza Barriere*, ed Regione Veneto, Venezia, 1988
- AA.VV., *L'integrazione scolastica e sociale dei bambini minorati della vista*, Utet, Torino 1990
- AA.VV., *Passo dopo passo. Verso l'autonomia dei minorati della vista*, ANIOM in collaborazione con International Inner Wherl Club, Bologna, 1996.
- ACCORSINI G., *Il bambino cieco nella scuola dell'infanzia e dell'obbligo*, Armando editore, Roma, 1986.
- AGABIO R., *Ginnastica Generale: didattica e metodologia*, Ed. Società Stampa Sportiva, Roma, 1994.
- ALLIEGRO M., *L'educazione dei ciechi. Storia, concetti e metodi*, Armando, Roma, 1991.
- ALLIEGRO M., *L'educazione motoria dei minorati della vista*, Armando, Roma, 1993.
- ALVIN J., *Le minorazioni sensoriali in La musica come terapia*
- ANTONELLI F., SALVINI A., *Psicologia dello Sport*, Lombardo Ed., 1978.
- ASSOCIAZIONE HOMERUS, *La vela autonoma per non vedenti*, Ed. Homerus, 2002.
- BAADER J., *Lo sport della vela*, Mursia Editore, Milano, 1985.
- BALBONI G. ET AL., *Anatomia Umana*, Edi-Ermes, Milano, 1993, 3 Vol, pp. 422-446.
- BANDURA A., *Il senso di autoefficacia*, Erickson, Trento, 1996.
- BARBASON G., BESSON J., *Conoscere e manovrare bene la barca a vela*, Mursia Editore, Milano, 2001.
- BARSOTTI P., DI MIZIO D., GORI M., TANGA M., *Il corpo e l'azione motoria. Note per la costruzione di una nuova prassiologia*, Ed Calzetti Mariucci, Perugia, 1996.
- BARTOLI F., LIUZZI L., *Oftalmologia*, Ed. Minerva Medica, Torino 2002
- BATTACCHI, W.M., *Trattato enciclopedico di psicologia dell'età evolutiva, volume primo, tomo secondo, Istituzioni: dimensioni dello sviluppo*, Ed. Piccin, Padova, 1988.
- BATTAGLIA R., *Con i tuoi occhi*, Milano, Ed. Rizzoli, 1997, pp.135

- BEAR M. F., CONNORS B. W., PARADISO M., *Neuroscienze esplorando il cervello*, Masson, Milano 2001.
- BELLINI A., *Toccare l'arte*, Armando Editore, Roma, 2000.
- BERGER PL., LUCKMANN T., *La realtà come costruzione sociale*, Il Mulino, Bologna, 2000.
- BONGI M., *Torino non ti posso vedere*, Torino, ed. L'Angolo Manzoni, 1998, pp. 192
- BOTTA G., *Corso di vela*, De Vecchi Editore, Milano, 2002.
- BRAMBRING M. (a cura di J Lanners), *Lo sviluppo nei bambini non vedenti - Osservazione e intervento precoce*, Franco Angeli Ed. Milano, 2004, p 368
- BRIAN OSWALD DONN BYRNE, *Raftery il cieco e la sua sposa Hilaria*, Palermo, Ed. Sellerio, 1989
- BRIM O.G., WHEELER S., *Socialization after childhood*, New York, 1966, in: Depolo M., *Entrare nelle organizzazioni*, Bologna, 1988.
- CALABRESE L., *Linee comparate di teoria e metodologia delle attività motorie*, Società Stampa Sportiva, Roma, 1978.
- CALDELLI M. L., D'AMORE B., *Idee per un laboratorio di matematica nella scuola dell'obbligo*, La Nuova Italia, 1986.
- CALLIGARIS BULLIGAN E., *I bambini ciechi nella scuola comune*, Europrint Publications, Milano 1983.
- CANESTRARI R., *Psicologia Generale*, CLUEB, Bologna 1984.
- CANNAO M., *La mente con gli occhiali*, Franco Angeli, Milano 1999
- CANNAO M., *La mente con gli occhiali. Sviluppo, patologia e riabilitazione della funzione visiva nel bambino*, Franco Angeli, Milano, 1999.
- CAPUTO D., *La tiflologia come scienza umana*, Editrice La Scuola, Brescia, 1982.
- CASTELNUOVO E., *Didattica della matematica*, La Nuova Italia, Firenze, 1964.
- CASTIGLIONI I.- BAGLIANI R., *Vela vela vela*, Ed. Rusconi, Milano, 1980.
- CATTANEO P., *Handicap e scuola elementare. Progettare l'integrazione*, Editrice La scuola, Brescia, 1997.
- CEPPI E., CEPPI M.E., CHIARELLI R., PASSARANO A., *Il bambino non vedente pluriminorato*, Borla Editore, Roma 1992.
- CEPPI E., *I minorati della vista e apprendimento scolastico*, Cosmodidattica, Roma 1982
- CEPPI E., *I minorati della vista*, Armando, Roma, 2° ed., 1990.
- CONTE OBERTO G., PASCHETTA L., *Handicappati e scuola. Il bambino cieco nella scuola di tutti*, stampatori didattica, Torino, 1978.

- COPPA M.M., DE SANTIS R., *Il bambino ipovedente*, Armando, Roma 1998
- CORNOLDI C., LUCANGELI D., *SPM La soluzione dei problemi matematici*. Ed. Erickson, Trento, 2000
- D'AMORE B., *Didattica della matematica*, Armando, Roma, 1984.
- D'AMORE B., *Percorsi, labirinti e mappe: esperienze problematiche nella scuola dell'infanzia*, Armando, Roma.
- DARLEY J.M., GLUKSBERG S., KAMIN L.G., *Psicologia Generale, volume primo*, Edizioni Il Mulino, Bologna 1992.
- DE MONTALAMBERT, *Buio*, Milano, Mondadori, 1986, pp. 242
- DE NEGRI C., *Vele Italiane del XIX Secolo*, Mursia, Milano, 1974.
- DEACON W.T., *La specie simbolica: coevoluzione di linguaggio e cervello*, Edizioni Giovanni Fioriti, Roma 2001.
- DEAHENE, S., *Il pallino della matematica – scoprire il genio dei numeri che è in noi*, Ed Mondadori Oscar Saggi Scienze, Milano 2000
- DEL CAMPO J. E. F., *L'insegnamento della matematica ai ciechi*, Biblioteca Italiana per i ciechi “Regina Margherita” onlus, Monza 2000.
- DERRIDA J., *Memoria di Cieco. L'autoritratto e altre rovine*, Milano, Ascondita Ed., 2003
- DEVLIN, K., *Il linguaggio della matematica – per rendere visibile l'invisibile*, Ed. Bollati Boringhieri Scienze, Torino 2002.
- DIENES ZOLTAN P., *La matematica moderna nell'insegnamento primario*. Ed. O/S. Firenze, 1965.
- DROPSY J., *Vivere nel proprio corpo. Espressione corporea e rapporti umani*, Ottaviano, Milano, 1988.
- ENZENSBERGER, HANS M., *Il mago dei numeri*, Einaudi (Torino) 1998
- FARNETTI P. - CARLINI M., *Il ruolo del corpo nello sviluppo psichico*, Loescher Editore, Torino, 1988.
- FEDERAZIONE ITALIANA VELA, *Manuale dell'allievo*, Genova, 1981.
- FINOCCHIARO R. B., FAMIGLIETTI SECCHI M., GIUSTOLISI G., *Giuditta giorno dopo giorno*, Zanichelli, Bologna, 1984.
- FOSCOLO U., *Dei Sepolcri*, Oscar Classici Mondadori, Milano, 1987.
- FRANZA, *Uno stigma e, forse, una norma: i ciechi. Problematica psico-socio-pedagogica dei non vedenti*,
- FROSTIG M., MASLOW P., *Educazione motoria. Teoria e pratica*, Edizioni Omega, Torino, 1977.
- GALATI D., DELL'OSBEL G., PERUSSIA F., *La rappresentazione mentale della città nei non vedenti, in Conoscere e rappresentare la città*, (a cura di Nenci A. M.), Padova, CEDAM, 1997
- GALATI D., *Vedere con la mente. Conoscenza, affettività, adattamento nei non vedenti*, Franco Angeli, Milano, 1992.
- GALIMBERTI U., *Dizionario di Psicologia*, Ed. Garzanti, Torino 1999.

- GAZZETTA UFFICIALE N. 93 del 21 Aprile 2001.
- GHIRLANDA S., *Sport per tutti... spazio ai disabili*, Edizioni del Cerro, Pisa, 2003.
- GODEL K., *La prova matematica dell'esistenza di Dio*, Ed Bollati Boringhieri, Torino 2006
- GUEDJ, D., *Il teorema del pappagallo*, Ed. TEA Longanesi, Milano 2000.
- GUIDI G., *Il corpo e il movimento nel processo educativo della persona*, Ed. Sei, Torino, 1986.
- GRANDINE, T., *La Macchina degli Abbracci* – Ed. Adelphi Milano, 2005
- HAMPSHIRE BARRY, *La pratica del Braille*, presses de l'UNESCO 1980
- HENRI P., *La vie des aveugles*, Presses Universitaires de France, Paris 1948.
- HENRI P., *La vie et l'œuvre de Louis Braille*, Presses Universitaires de France, Paris 1952.
- HOFMANN G., *La parabola dei ciechi*, Parma, Guanda Ed., 1988, pp. 128
- HUIZINGA J., *Homo ludens*, Einaudi Editore, Torino, 1973.
- HULL J., *Il dono oscuro. Nel mondo di chi non vede*, trad. di Luzi S., Garzanti Editore, Milano, 1992.
- HUMPREY N., *Una storia della mente*, Instar Libri, Torino 1998
- HUSSERL E., *La filosofia dell'aritmetica*, Ed. Bompiani, 2001
- IFRAH, G., *Storia Universale dei Numeri*, Ed. Mondadori, Milano 1980
- IMBASCIATI A., *Nascita e costruzione della mente. La teoria del protomentale*, ed. Utet, Torino 1998.
- IMBASCIATI A., *Sviluppo psicosessuale e sviluppo cognitivo. Introduzione alla psicologia psicoanalitica*, Ed. Il Pensiero Scientifico, Roma 1983.
- JAEL KOPCOWSKI CAMERINI, *Metodo Feuerstein ed handicap visivo in l'Apprendimento mediato*, Editrice la Scuola, Brescia, 2002
- JOHN WYNDHAM, *Il giorno dei Trifidi*, editore Fanucci, 1951
- KANDEL E.R., SCHWARTZ J.H., JESSEL T.M., *Principi di Neuroscienze*, Ed. Ambrosiana, Milano 2001
- KELLER H., *La storia della mia vita*, Edizioni Paoline, Roma 1981.
- KLEIN, *Imparo a ... vestirmi da solo*, Ed. Erickson, Trento, 1997, pp. 160
- KUUSISTO S., *Tutti i colori del buio*, Milano, Mondadori, 1998, pp. 210.
- LANCIONI G., *Ritardo mentale grave e plurihandicap. Aree e metodi di intervento*. Ed. Liviana, Torino 1992.
- LAPIERRE A., AUCOUTURIER B., *La simbologia del movimento: psicomotricità ed educazione*, Edipsicologiche, Cremona 1978.
- LAROCCA F., *Atti del VII Convegno Internazionale di Musicoterapica – Cosa arcana stupenda: il sordo danza, il cieco dipinge, l'autistico suona...*, Libreria Editrice Universitaria, Verona, 2000.

- LAROCCA F., *Atti del VIII Convegno Internazionale di Musicoterapica – Oltre le diversità le abilità*, Libreria Editrice Universitaria, Verona, 2001.
- LAROCCA F., *Azione mirata. Per una metodologia della ricerca in Educazione speciale*, Franco Angeli, Milano, 2003.
- LAROCCA F., *Nei frammenti l'intero. Una pedagogia per la disabilità*, Franco Angeli, Milano, 1999.
- LAROCCA, F., *Atti del VI Convegno Internazionale di Musicoterapia – I mediatori analogici*, Libreria Editrice Universitaria, Verona, 1999.
- LAROCCA, F., *Dialogo Creativo*, Ed. Morelli, Verona, 1999.
- LAROCCA, F., *Pedagogia Generale*, Ed. Libreria Editrice Universitaria, Verona, 2000.
- LASCIOLI A., *Elementi introduttivi alla pedagogia speciale*, Libreria editrice universitaria, Verona, 2001.
- LASCIOLI A., *Handicap e pregiudizio*, Franco Angeli, Milano, 2000.
- LAWTON M. P., *A multidimensional view of quality of life in frail elders*, in: J. E. Bierrin et al., *The concept and measurement of quality of life in the frail elderly*, Academic Press, New York, 1991.
- LUCARELLI C., *Almost Blue*, Torino, Einaudi, 1997, pp.194
- LUDEL J., *I processi sensoriali*, Il Mulino, Bologna, 1981.
- MAGEE B.-MILLIGAN M., *Sulla Cecità*, Roma, Astrolabio, 1997, pp. 178
- MAJANI G.- CALLEGARI S., *Test SAT-P, Satisfaction Profile. Soddisfazione soggettiva e qualità della vita*, Centro studi Erickson, Trento, 1998.
- MALARODA V., ZAMBONI C., *Il bambino non vedente. La condizione di cecità: problemi e prospettive nella scuola elementare*, Cappelli Ed., Bologna, 1991.
- MAZZEO M., *Tatto e linguaggio*, Ed. Riuniti, Roma, 2003.
- MAZZEO M., *Il bambino cieco: introduzione allo sviluppo cognitivo*, Anicia ed., Roma, 1988.
- MAZZEO M., *La percezione sensoriale per i non vedenti*, in: *Dialogo al buio*, UIC, Roma, 1997.
- MC CLOSKEY, CARAMAZZA, BASILI, *Il Modello del Triplo Codice – Ed Erickson*, Trento, 1997
- MERLEAU-PONTY, *Fenomenologia della percezione*, Il Saggiatore, Milano 1965.
- MIALARET G., *Apprendimento della lettura*, Armando, Roma, 1978.
- MONTI CIVELLI E., *La socializzazione del fanciullo non vedente*, Franco Angeli, Milano, 1991.
- NERI S. E BRODINI M., *Handicap e tempo libero*, Del Cerro, Livorno, 1982.
- ODIFREDDI P., *Il matematico impertinente*, Ed Tea, Milano 2005
- OLIVIERO A. L. *L'ombra e le parole. Cecità e letteratura*, L'Arciere ed. , 2001, pp 144

- OMS, *ICIDH-2 Classificazione internazionale del Funzionamento e delle Disabilità*, Erickson, Trento, 1999.
- ORSINI L., *Il bambino non vedente. Proposte educative*, Ed. Il ventaglio, Roma, 1985.
- OTTAVI I., *Benefici psicologici e sociali dell'attività sportiva nei disabili*, Ed. FISD, Roma, 2003.
- PACI G., *L'educazione dei non vedenti. Mezzi e metodi*, Armando, Roma, 1983.
- PALKIEWICZ, J., *Gli ultimi mobicani degli oceani*, Mursia, Milano, 1981.
- PORCIANI M., *Sport Handicap*, Sperling & Kupfer Editori, Firenze, 1995.
- PORTIGLIA C., *Mani che vedono*, Bologna, Cappelli ed., 1990
- PRINI P., *IL paradosso di Icaro*, Armando, Roma, 1976.
- PUSCEDDU NARDELLA M., *Il pianeta vita*, Trevisini Editore, Milano, 1989.
- QUARTARO A., VENTURA E., *Il braille: un altro modo di leggere e di scrivere*, Bulzoni Ed., Roma, 1992.
- QUATRARO A. (a cura di), *Crescere Insieme, Guida per Genitori*, ed. Biblioteca Italiana per Ciechi, Monza, 2001, pp. 295
- RESTELLI B., *Giocare con tatto. Per una educazione plurisensoriale secondo il metodo B. Munari*, Milano, Ed Franco Angeli, 2002
- RINALDI CARINI R., *Conversazioni di matematica con gli insegnanti*, Ed Giunti Barbera, 1972 Firenze
- ROMAGNOLI A., *Ragazzi ciechi*, Armando editore, Roma, 1973.
- SACKS O., *Vedere e non vedere in Un antropologo su Marte*, Milano, Adelphi, 1995
- SACKS O., *L'isola dei senza colore*, Adelphi, Milano, 1997
- SACKS O., *L'uomo che scambiò sua moglie per un cappello*, Adelphi, Milano 2000.
- SALMIERI S., *I segni del comunicare: il passaggio dal concreto al simbolo per i minorati visivi*, Ferrara, Tecnoproject Ed., 2001
- SALMIERI S., *Il visibile dell'invisibile. La minorazione visiva in un mondo di apparenza*, CUECM, Catania 1993.
- SALMIERI S., *La minorazione visiva*, CUECM, Catania 1992
- SANGALLI A., *L'attività motoria compensativa*, Trento Unoedizioni, Trento, 2003.
- SARAMAGO J., *Cecità*, Torino, Einaudi, 1996, pp. 315
- SARTENA B., *Uno sguardo al buio*, Omnia, Torino 1989.
- SARTORIS A.C., *Il superamento dei limiti percettivi per l'orientamento e la mobilità in autonomia dei disabili visivi*, APRI, Torino, 2002, pp 64
- SARTRE J. P., *L'essere e il nulla*, Il saggiatore, Milano, 1975.
- SCHNITZLER A., *Geronimo il cieco e suo fratello*, Palermo, ed Sellerio, 2000, pp. 69
- SECCHI L., *L'educazione estetica per l'integrazione*, Roma, Ed. Carocci Faber, 2004

- SIETY, A., *Matematica... Mio Terore!* - Ed salani, Milano, 2000
- SELLAROLI, *Il primo anno di vita del bambino cieco*,
- SMELSER N., *Manuale di sociologia*, Il Mulino, Bologna, 1987.
- SORRESI S., *Disabilità e qualità della vita*, in: *Psicologia dell'handicap e della riabilitazione*, Il Mulino, Bologna, 1998.
- STREHL C., *La vita personale e sociale dei ciechi*,
- TAITI P., *La psicomotricità*, in: *Linee generali di neurofisiologia del movimento*, Società Stampa Sportiva, Roma, 1983.
- TEMBERKEN S., *La mia strada porta in Tibet*, Milano, ed Corbaccio, 2002 , pp. 267
- TERZI, *Il metodo spazio-temporale*, Ghedini ed., Milano, 1995, pp. 230
- TESTA A. VENTURINI B., *Problematiche gestionali, riabilitative e metodologiche della mobilità spaziale autonoma*, Satem ed., Cosenza, 1994
- TIOLI E., *I processi cognitivi del minorato della vista*, Tipografia Veronese, Padova 1981
- TREVARTHEN C., *Empatia e Biologia. Psicologia, cultura e neuroscienze*. Raffaello Cortina Editore, Milano 1998.
- U.I.C., *Dialogo nel buio. Una metafora dell'universo dei non vedenti*, Roma, Quintilia Ed., 1997
- UIC, *Orientamento e Mobilità*, Roma, 1992, pp 31
- VAN DYCK, *Non così ma così*, UIC, Roma
- VAYER P., *L'educazione psicomotoria nell'età scolastica*, Armando Armando editore, Roma, 1975.
- WELLS H.G., *Il paese dei ciechi*, Milano, Mursia ed., 1966, pp. 50

EMEROGRAFIA

- ANDRICH R, PORQUEDDU B., *Educazione all'autonomia: esperienze, strumenti, proposte metodologiche*. Europa Medicophysica V° 26, N° 3, Minerva Medica, Torino, 1990.
- ARTICO G., *Pacchetto software*, in “tiflogia per l'integrazione”, n°3, 1985
- AA.VV. , *Percezione visiva e rapporto percezione movimento*, in Riabilitazione Oggi, anno XII, 1995, pp. 19-22
- AA.VV., *Come fanno i ciechi a ...*, in “Il Corriere dei Ciechi”, anno 54, dic. 99, n. 11/12, pp 14 – 36
- AA.VV., *Il bambino cieco, sviluppo neuromotorio e cognitivo nei primi tre anni di vita*, in Saggi, anno XX, n. 2, 1994, pp.117127
- AA.VV., *Incremento del livello di indipendenza e autonomia personale di giovani con plurihandicap in un gruppo appartamento*, Tiflogia per l'Integrazione, anno 9, n. 3, pp 28-38
- AA.VV., *La mobilità dei minorati della vista: sussidi, segnaletica e percorsi attrezzati*, in “Tiflogia per l'integrazione”, anno IX, n. 1, gennaio marzo 1999, pp 18-21
- BARTOLAZZI A., FIOCCO A., BORTOLIN C., *La mobilità dei non vedenti*, Tiflogia per l'integrazione, n. 2 anno 2001
- BORTOLIN C., *La mobilità dei non vedenti. Dagli ausili tradizionali alle nuove tecnologie. Interrogativi e realtà*, Tiflogia per l'integrazione, n. 4 anno 2001
- BORTOLIN C., *Quali servizi nel processo di integrazione culturale e sociale del non vedente*, in Tiflogia per l'integrazione, n. 1, gen-mar 2000.
- BORTOLIN-VITIELLO, *A piccoli passi verso l'autonomia*, in Oltre il Confine, anno IV, n. 5, mag. 2000, pp. 10-16
- BORTOLIN-VITIELLO, *Centri Estivi Riabilitativi per l'Autonomia*, in Oltre il Confine, anno III, n. 11, Novembre 1999, pp. 2-8
- BORTOLIN-VITIELLO, *Eurodidattica 2*, Tiflogia per l'integrazione, anno 13, n. 3 anno 2003
- BORTOLIN-VITIELLO, *Eurodidattica*, in Tiflogia, anno 12, n. 1 gennaio 2002

- BORTOLIN-VITIELLO, *Il bastone bianco lungo simbolo della cecità ed ausilio di mobilità (parte prima)*, Tiflogia per l'Integrazione, anno 14, n. 1, 2004
- BORTOLIN-VITIELLO, *Il bastone bianco lungo simbolo della cecità ed ausilio di mobilità (parte seconda)*, Tiflogia per l'Integrazione, anno 14, n. 2, 2004
- BORTOLIN-VITIELLO, *Il bastone bianco lungo simbolo della cecità ed ausilio di mobilità (parte terza)*, Tiflogia per l'Integrazione, anno 14, n. 3, 2004
- BORTOLIN-VITIELLO, *Il cambio scuola*, in Tiflogia per l'integrazione, anno 13, n. 4 2002
- BORTOLIN-VITIELLO, *Il Servizio Sanitario e la riabilitazione in Orientamento Mobilità*, in Tifloautonomia, gennaio, 2000.
- BORTOLIN-VITIELLO, *La riabilitazione in Orientamento, Mobilità ed Autonomia Personale*, in Oltre il Confine, anno II, n. 9, set. 1998, pp. 7-15
- CHIARELLI R., *assistenza educativa e riabilitativa ai ciechi pluriminorati*, in “Tiflogia per l'Integrazione”, anno 10, n°4 ottobre – dicembre 2000.
- CIPRIANI R., *Il futuro della nostra mobilità*, in Tiflogia, 1992, n. 3, pp. 32-33
- COPPA M.M., STORANI E., ORENA E., FANELLI V., PAOLINELLI A., *Programmi di orientamento e mobilità con bambini e ragazzi pluriminorati psicosensoriali, parte prima: l'insegnamento delle tecniche di accompagnamento e protezione in spazi interni*, in “Tiflogia per l'Integrazione”, anno 11, n° 1, Gennaio – Marzo 2001.
- COPPA M.M., STORANI E., GAMBINI F., LANARI R., BALDUCCI P., *Programmi di orientamento e mobilità con bambini e ragazzi pluriminorati psicosensoriali, parte seconda: l'insegnamento delle abilità di autonomia ed orientamento in spazi esterni con un ragazzo ipovedente*, in “Tiflogia per l'Integrazione”, anno 11, n°2, Aprile – Giugno 2001.
- D'AURIA G., *Due occhi per chi non vede*, Anche noi, 6/1992, pp. 36-39
- DE PERSIS C., *Una strada elettronica*, Oltre il Confine, anno II, n. 2, feb. 1998, p 2-7
- DOXA, *Abitudini di vita, problemi ed aspettative dei non vedenti in Italia*, indagine Doxa 1993, Il Corriere dei Ciechi, 32, pp. 5-55
- DIREZIONE NAZIONALE DELL'UNIONE ITALIANA LOTTA ALLA DISTROFIA MUSCOLARE, *Dalle cause all'impatto della disabilità*, in: 'DM145', Padova, Aprile 2002.
- DIPARTIMENTO DI SCIENZE PSICOLOGICO-SOCIALI E PEDAGOGICO-DIDATTICHE DELL'ISTITUTO DI RICOVERO E CURA A CARATTERE

- SCIENTIFICO (IRRCCS) 'OASP', *Modello Bio-psico-sociale nell'analisi delle disabilità visive*, in: 'Ciclo Evolutivo e disabilità' V° 4, N° 2, Troina, 2001.
- GREZZO R., *Sportivamente*, in: 'Accaparrante', Erikson, Bologna, Settembre 2003, pp. 80-83.
- BACHETTI A., *L'integrazione dei fanciulli minorati della vista nella scuola ordinaria: storia, problemi e prospettive*, in: 'Tiflogia per l'integrazione', Anno 14 N° 1, Roma, 2004, pp. 4-5.
- BENTIVEGNA S., FRANZONI F., (a cura di_) *I non vedenti pluridisabili*, in "Autonomie locali e servizi sociali", n°1, anno 2003. Il Mulino editrice, Bologna.
- CEPPI E., *I principi dell'educazione motoria presso i ciechi*, in: 'Luce con luce', N° 1, 1957, p. 40-46.
- BONVINO A., *La matematica nell'educazione dei ciechi*, in Problemi pedagogici della scuola dei ciechi. Rassegna bimestrale a cura della federazione italiana delle istituzioni pro ciechi. Anno 1, n° 3 – 4, Roma 1953
- CEPPI E., *L'ambiente nell'educazione dei ciechi*, in: 'Luce con luce', N° 1, 1958, pp. 28-31.
- CEPPI E., *Note sulla pedagogia dell'orientamento*, in: 'Luce con luce', N° 4, 1962, pp. 38-47.
- CEPPI E., *Posizione e sviluppo della percezione dello spazio nei ciechi*, in: 'Luce con luce', N° 2, 1959, pp. 32-38.
- CONTE OBERTO G., *Partecipare per apprendere. La persona cieca nelle classi comuni: vademecum per i docenti curricolari. Quattro aspetti cruciali: suggerimenti ed esemplificazioni*, in "Handicap e scuola", n° 93
- CORSI F., *Ricerca in atto*.
- CORSI F., *cooperativa "Luce e Lavoro"*, in "Luce e Amore" rivista mensile del Movimento Apostolico Ciechi, n° 4, aprile 2003.
- COTTONI G., *integrazione scolastica e autonomia educativa e didattica*, in "Tiflogia per l'integrazione", anno 9
- DEL CAMPO J.E.F., *L'insegnamento della matematica ai ciechi*, Biblioteca italiana per Ciechi "Regina Margherita", Roma 2000
- DELL'OSBEL G., VEGLIA F., RICHERO R., *Cecità congenita, cecità tardiva ed ipovisione. Implicazioni comportamentali ed emozionali e suggerimenti metodologici*, in: Educare.it, Anno III, N° 3, Febbraio 2003.
- DELL'OSBEL G., VEGLIA F., RICHERO R., *Disabilità visiva totale congenita: implicazioni cognitive e comportamentali*, in: educare.it, Anno III, N° 2, gennaio 2003.
- DURANTI G., *I privi della vista hanno il senso degli ostacoli?* in: 'Luce con luce', N° 1, 1963, pp. 72-78.
- DURANTI G., *Possiedono i privi della vista il senso degli ostacoli?*, in: 'Luce con luce', N° 3, 1962, pp. 23-33.

- EID, SFORZA, FERRARIO, MAURO, *La tendenza al cambio di direzione nel non vedente*, Tiflologia per l'integrazione, n. 2 anno 2001
- FELLENUS K., *Il braille e l'apprendimento*, in "Tiflologia per l'integrazione", anno 12, aprile – giugno 2002.
- FOGAROLO F., *Nuove tecnologie e qualità dell'integrazione scolastica*, In "Tiflologia per l'integrazione", n°1, 2000.
- FRAIBERG S., *L'intervento precoce sui bambini ciechi e sulle loro famiglie*, in: 'Il Corriere dei ciechi', Marzo 1989.
- GATTO FRANCESCO, *Aspetti psicopedagogici e didattici della minorazione visiva*, in Situazione di handicap e diritto all'educazione, Prospettiva Educazione Permanente, Roma, Bulzoni ed., anno XVI ottobre-Dicembre 1994 n. 4, p 13-32
- GRAZIANI P., *Ambiente amichevole per chi? Accessibilità e barriere per i non vedenti*, in "Tecnologia e integrazione dei disabili visivi e dei pluriminorati. Guida per l'accesso all'informatica". Monza 2001
- HEYRAUD M., *Attività della vita quotidiana*, in Tiflologia, 1991, n.1, pp. 23-24
- LAROCCA, F., *L'Arte di Apprendere - inserto a "Professionalità" n. 4, 1980-'81, pagg. 25-38*
- LARS FALT, *Il cane: guida e non solo*, Il Corriere dei Ciechi, anno 58, n. 6, 2003, p. 18-23
- LAURIA A., *La comunicatività ambientale*, in: 'Paesaggio Urbano', N° 1, 2002. (<http://www.provincia.bergamo.it/provpordocs/Lauria.pdf>)
- LAYTON C.A., LOCK R. H., *Determining learning disabilities in students with low vision*, in Journal of Vision Impairment & Blindness, maggio 2001
- MAMBELLI A., *Corsi di mobilità: un'occasione per crescere*, Tiflologia, anno 9, n. 3, 1999, pp. 50-51
- MESSINA a.m., *A favore della autonomia*, in Oltre il Confine, anno IV, n. 1, 2000, pp10-11
- ORSINI L., *Il contributo dell'educazione fisica all'educazione morale* in 'Quaderni di didattica speciale: l'educazione morale nelle scuole dei minorati della vista', centro di produzione del libro e del materiale didattico, Roma, 1970
- PAGURA S., *La rappresentazione dello spazio e l'educazione all'orientamento*, in Tiflologia, 1992, n. 4, pp 5-12
- PARONZINI, *L'autonomia non è preclusa ai non vedenti*, Luce e amore, 5/94, pp. 34-5
- PERATHONER A., *Corsi di mobilità per minorati della vista*, in Tiflologia, 1991, n. 1, pp 18-21
- QUATRARO A., *Mappa audiotattile informatizzata per non vedenti*, in Tiflologia, 1992, n. 2, pp 15-19

- RUBAGOTTI M., *I miei corsi di economia domestica*, in *Tiflogia*, 1996, n. 4, pp 28-29
- RIMINUCCI A., *La vera autonomia*, in: 'Accaparlante', N° 65, Erickson, Bologna, 1998.
- ROMAGNOLI E. COLETTA, *L'educazione dei ciechi al moto*, in: 'Luce con luce', N° 2, 1958, pp. 4-16.
- ROMAGNOLI E. COLETTA, *L'educazione all'orientamento come coefficiente di sviluppo dell'immaginazione*, in: 'Luce con luce', N° 2, 1963, pp. 39-56.
- ROMAGNOLI E. COLETTA, *L'orientamento nell'educazione dei ciechi*, in: 'Luce con luce', N° 2, 1959, pp. 5-19.
- ROTTINI A., *Virate a occhi chiusi*, in: *Terre di mezzo* N° 116 , Ed. Cart'armata, Luglio-Agosto 2004.
- SALMERI S., *Per una didattica della matematica*, in "Tiflogia per l'integrazione", 1996
- SEGHETTI R., *Restituiamo a tutti gli individui il diritto di vivere in città*, in *Oltre il Confine*, anno III, dic 2000, pp. 2-13
- STORANI E., *Autonomia Personale, Ausili e prospettive*, *Tiflogia per l'integrazione*, n. 4 anno 2001
- TAYLOR J. L., *La valutazione e il trattamento della rabbia e dei comportamenti aggressivi in persone con ritardo mentale*, *Handicap Grave*, volume 4, n°2, maggio 2003.
- TIOLI E., *Cecità e percezione della forma*, in "Tiflogia per l'integrazione", anno 10, ottobre – dicembre 2000.
- TRAPANI G., *Ipovedenti*, in "Il corriere dei ciechi", n° 36
- WALTHES R., *Intervento precoce*, in "Tiflogia per l'integrazione", anno 12, n°4, ottobre – dicembre 2002
- VALLECCHI M. P., *La percezione tattile delle forme urbane ed architettoniche*, in *Tiflogia per l'integrazione*, anno 9, lug-set 1999, p 14-20
- VEZZOSI F. (a cura), *A spasso con il satellite*, in *Il Corriere dei Ciechi*, anno 54, n. 9, set 1999, pp18-27
- VEZZOSI F. (a cura), *Vita da cani*, *Il Corriere dei Ciechi*, anno 52, n. 7, mar 1997, pp 7-28
- Visione e movimento*, *Oftalmologia sociale*, 1-2/1994, pp 106
- VON PRONDZINSKI (a cura), *Casa dolce casa?*, *Il Corriere dei Ciechi*, anno 53, n. 5, mag 1998, p 9-30
- VON PRONDZINSKI (a cura), *Il diritto di muoversi*, *Il Corriere dei Ciechi*, anno 53, n. 9, sett 1998, 6-29

- VON PRONDZINSKI S. *Per la mobilità dei sordociechiI*, in ASPHInforma, n. 3 anno 2001
- VON PRONDZINSKI S., *Noi e l' EURO*, Il Corriere dei Ciechi, anno 55, n. 4, apr 2000, pp. 35-52
- VON PRONDZINSKI S., *Questionario sui sistemi di supporto alla mobilità*, in Tiflogia, anno 12, n. 1 2002
- VON PRONDZINSKI S., *Sperimentazione di tecnologie per la mobilità dei sordociechi*, ed. A.S.P.H.I., Bologna, 2000, p 31
- VON PRONDZINSKI S., *Una città a misura di ciechi*, Oltre il Confine, anno II, n. 1, gen 1998, pp. 2-13

SITOGRAFIA

www.aimionline.it

www.anisn.it

www.associazioneisole.org

www.benessere.com

www.blista.de

www.cavazza.it

www.circoloacquafresca.it/gardaxtutti.htm

www.camminiamoinsieme.it

www.danna.it

www.deafblind.com

www.educare.it

www.handycup.it

www.keat.gr

www.idn.org.pl/tecza

www.mareaperto.org

www.math.unipd.it

www.navedicarta.it

www.nonvedenti.it

www.once.es

www.percorsoverde.it

www.provvstudi.vi.it

www.psyco.com

www.qfwfq.com/paolo.pdf

www.uiciechi.it

www.univr.it

www.elenapasquellini.free.fr/links/Percezione%20tattile.doc

MATERIALE GRIGIO

- A.N.I.O.M. & A.P., *Mobilità del minorato della vista*, 2002.
- ASSOCIAZIONE HOMERUS, *Homerus Project. Self governing sailing for blind people* – Discorso per Sidney, Ottobre 2000.
- AA.VV., *Ad occhi chiusi nel museo. Atti del convegno (Bergamo, 25 ottobre 2002)*, Bergamo, Soroptimist International, 2003
- AA.VV., *Giubileo per tutti, guida alla mobilità e alla accessibilità delle aree basilicali e dei luoghi di interesse turistico*, Agenzia Romana Preparazione Giubileo, p.za Adriana 12 00193 Roma, 2000, pp 31
- AA.VV., *Incontro informativo sull'uso corretto degli strumenti tecnici per la mobilità del non vedente*, Atti del convegno, Pordenone, 1987
- BENELLI E., *Quando il satellite indica la strada giusta, GPS per la mobilità dei non vedenti*, Percezione Informazioni & Segnalazioni dalla Scuola Cani Guida per Ciechi, n. 2 Edizioni Regione Toscana, 1998
- BORTOLIN C., *Il corso di formazione professionale di Potenza*, Oltre il Confine, anno III, n. 5, maggio 1999, pp 7-12
- CAMPO M, SERRA M.A., *Conseguenze della disabilità visiva nello sviluppo psicomotorio in età precoce: un modello riabilitativo*, VII Congresso Internazionale di Psicomotricità “Il corpo e lo sguardo”, Nizza, 30 aprile-3 maggio 1986
- CORSI F., Ricerca in atto.
- CORSI F., *Lo studente cieco: difficoltà e problematiche di apprendimento connesse al deficit*, atti del convegno: i diversamente abili entrano in Università – Università di Verona, ottobre 2003.
- D'AURIA G. (a cura), *I ciechi e i cani guida*, ed. Servizio Cani Guida del Lions, Milano, 1997, pp. 52
- EBU, *L'Euro, fattore d'integrazione o di esclusione delle popolazioni con minorazione visiva?* Ed. a cura European Blind Union, Paris, ottobre 1999, pp. 12
- EBU, *Minorazione Visiva ed Euro. Come facilitare la transizione all'Euro per le persone minorate della vista*, Ed. a cura European Blind Union, Paris, 1999, pp. 21

- FOGAROLO F., *Nuove tecnologie e qualità dell'integrazione scolastica*, Vicenza, Provveditorato agli Studi.
- FOGAROLO F., *Erica. Programma di gestione testi ad uso scolastico per periferiche Braille e sistemi ingrandenti*, Provveditorato agli Studi di Vicenza, 1995
- GAOSO, A., *Progetto Homerus* – Bogliaco del Garda, intervista diretta.
- LANDI M., *Metodo Feldenkrais e organizzazione motoria del non vedente*, Percezione Informazioni & Segnalazioni dalla Scuola Cani Guida per Ciechi, n. 1 Edizioni Regione Toscana, 1998
- LANNERS J., SALVA R., *Un bambino da incontrare*, Fondazione Hollman
- LAROCCA F., *Mani che vedono: il metodo Braille*, 1995-96.
- LASCIOLI A., *La ricerca della "qualità" tra bisogni e disgregazioni: quali prospettive di intervento?*
- LAURETI L., A. DAVIDSON, *Per i genitori, consigli per promuovere lo sviluppo del bambino con difficoltà visive*, Ed. Subvision, 2001, pp. 14
- METELLI A., BENEDAN S., PANSÀ M., *Centro per l'integrazione scolastica e la piena realizzazione dei non vedenti*
- NARDONE G., *Computer con sintesi vocale*, in "Atti dei seminari dei Quadri associativi su: ausili e nuove tecnologie per la mobilità e l'autonomia del non vedente", Tirrenia, Pisa 1987
- NARDONE G., *La mobilità autonoma dei disabili visivi: false illusioni e semplici certezze*, Reciprocamente insieme, UNIVOC, anno II, n.4, ott. - dic. 1998
- NISI-CECCARANI, *Apprendimento ed orientamento nello spazio. Dall'esplorazione ai concetti spaziali*, H.D. 46/1992, pp. 2-47
- NOBILI, G., *Navigando nel grande mare della solidarietà* (ottavo convegno), Salò (BS) 24 Aprile 2004.
- PAGURA, *La percezione degli ostacoli nei ciechi*, Contributi Ist. di Psicologia di Trieste, 1951, pp 159-70.
- QUATRARO A., *L'informatica nel Braille*, in "Tecnologia e integrazione dei disabili visivi e dei pluriminorati", Monza 2001
- RICCOBONI A., *Inchiesta sull'attività ginnico-sportiva dei minorati sensoriali: ciechi*, Istituto superiore di educazione fisica pareggiato, Bologna, 1973.
- RUSSO A., *La speranza fiorì e morì a Napoli*, in memoria di Eugenio Malossi.
- SARTORI P., *Oggi possiamo anche noi! Ausili informatici per bambini e ragazzi con pluriminorazione*, in "Tecnologia e integrazione dei disabili visivi e dei pluriminorati", Monza 2001
- STRATA P.G., BENEDETTI F., ROSSI F., TEMPIA F., *Atlante di plasticità neuronale*
- TAMAGNONE M., *Come avviare il non vedente della scuola dell'obbligo all'utilizzo del computer*, Monza 1997.

VON PRONDZINSKI S., *Ricodificazione della realtà su canali sensoriali alternativi in soggetti disabili visivi.*

VON PRONDZINSKI S., *Presentazione dei sistemi per la mobilità del non vedente*, in Bresin T. (a cura di): *Atti del Convegno: Incontro informativo sull'uso corretto degli strumenti tecnici per la mobilità del non vedente*, Unione Italiana Ciechi, Pordenone, 1987.