



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA**

Dipartimento di Scienze Cognitive, Psicologiche, Pedagogiche e degli Studi Culturali

DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE COGNITIVE  
XXX CICLO

---

**Speech Motor Control e Linguaggio Umano.  
Le Nuove Ipotesi sui Meccanismi di Controllo Motorio  
dell'Articolazione Linguistica**

**Dottoranda:**

Rosa Fontana

**Coordinatore del dottorato:**

Prof. Antonino Pennisi

**Tutor e Supervisore di Tesi:**

Prof. Antonino Pennisi

S.S.D  
M-FIL/05

---

Anno Accademico 2016 - 2017

# INDICE

<b>Introduzione</b>	5
<b>CAPITOLO I</b>	
<b><i>La Prospettiva Meccanicistica</i></b>	14
1.1. Il Sistema Respiratorio	15
1.1.1. Studi sull'attività respiratoria nel discorso	16
1.1.2 Critiche e sviluppo delle teorie	19
1.2. Il Sistema vocale	26
1.2.1 La Laringe: Studi anatomici e funzionali	27
1.2.2 Laringe: teorie sui meccanismi di produzione vocale	34
1.3. Una possibile specializzazione dell'articolazione linguistica: le fibre muscolari a lenta tonicità	37
1.4. Il sistema articolatorio	41
1.5. Organi articolatori	42
1.5.1 La lingua: basi fisiologiche ed anatomiche	42
1.5.2 Movimenti articolatori della lingua e sinergie muscolari	44
1.6. La mandibola	46
1.6.1 Muscoli della mandibola	48
1.6.2 Studio dei movimenti articolatori della mandibola	52
<b>CAPITOLO II</b>	
<b><i>L'evoluzione della dentatura dalle scimmie antropomorfe al genere Homo</i></b>	
2.1. Dentatura e articolazione linguistica	57
2.2. Classificazione e caratteristiche anatomiche dei denti	60
2.2.1 Odontogenesi nell'uomo	63
2.2.2 Intervento ortodontico sulla produzione linguistica	65
2.3. Studi sull'evoluzione dei denti e della mandibola	68
2.4. L'evoluzione dell'uomo attraverso i denti	71
2.4.1 Dentatura ed evoluzione dentaria delle Austrolopithecine	73
2.4.2 Costituzione dentaria del genere Homo	76
2.5. L'eccezione alla regola: Homo neanderthalensis	77

### **CAPITOLO III**

#### ***Speech motor control: teorie a confronto***

3.1. Approcci teoretici e investigativi sull'acquisizione della produzione del linguaggio	79
3.2. Teorie Passive e Attive	80
3.3. Storia ed evoluzione teorie motorie	83
3.4. Neuroni Specchio: studio evolutivo e scientifico	88
3.4.1 Neuroni Specchio: controversie scientifiche sulla loro esistenza	92
3.4.2 Hickok vs Rizzolatti: il mito dei neuroni specchio	95
3.5. Teoria del frame /content	98

### **CAPITOLO IV**

#### ***Controllo motorio dell'articolazione linguistica e attivazione cerebrale***

4.1. Elaborazione vocale nel cervello umano	102
4.2. Aspetti cognitivi della corteccia motoria (m1)	108
4.3. La voce e le emozioni	116
4.4. Controllo motorio faringeo	120
4.4.1 Studi sulla LMC	120
4.4.2 LMC nei primati	123
4.4.3 Capacità di apprendimento vocale	125
4.5 Circuiti cerebrali del controllo muscolo-masticatorio	128
4.6 Tracce genetiche sullo sviluppo del linguaggio articolato	130

### **CAPITOLO V**

#### ***Studi sull'imitazione visiva e uditiva e sviluppo del linguaggio***

5.1. Le teorie sull'imitazione:	
Grounded & embodied cognition	133
5.1.1. Disembodied cognition e bilinguismo	136
5.1.2 Sistema mirror, embodied, cognition e linguaggio	137
5.2 Negazione linguistica e controllo motorio	139
5.3 Sviluppo dei sistemi di elaborazione del viso e del linguaggio	141
5.3.1 Comunicazione gestuale e orale	144

5.3.3 Domini che coinvolgono il linguaggio sociale	146
<b>Conclusioni</b>	<b>149</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>153</b>

## Introduzione

Il possesso della capacità linguistica è *“la caratteristica maggiore distintiva dell’uomo”*, così come affermato da Huxley (1863:122), che coinvolge non solo l’invenzione di nuove parole ma ancor di più la capacità di comunicarle e pensarle, cose quasi del tutto “(...) non presenti nel mondo animale (...)” (MacNeilage 2008:3).

Quando parliamo infatti lo facciamo ad un ritmo di una quindicina di consonanti e vocali insieme al secondo, riuscendo a produrre parole, frasi, sentenze e sillabe che l’ascoltatore distingue, recepisce ed elabora.

Realizzare uno studio sui meccanismi di controllo motorio dell’articolazione linguistica e sui modelli di processamento e di riproduzione del linguaggio è di certo un compito arduo ma molto affascinante. La vastità e la complessità dell’argomento non permettono di certo di affrontarlo solo da un punto di vista monodisciplinare né di esaurirne la trattazione in un singolo saggio o tesi che sia.

L’alone di mistero che ha sino ad oggi avvolto l’interpretazione dei dati circa la filogenesi e ontogenesi della capacità linguistica lascia aperto il dibattito alle più svariate interpretazioni, spesso diametralmente opposte, sul modo in cui la specie umana produce discorsi articolati complessi, sul cosa facciamo quando produciamo un discorso, o su quale possa essere una sequenza di azioni organizzate (Lashley 1951) per produrlo.

Interessanti sono le quattro prospettive fondamentali adottate da MacNeilage (2008:33), e formulate per la prima volta dal Premio Nobel Tinbergen N. (1952) e che come afferma Hauser (1996:2) “(...) provide the only fully encompassing and explanatory approach to communication in the animal kingdom including human language (...)” (Hauser 1996:2).

Queste teorie o “four core perspective” possono essere così riassunte:

1. Meccanicistica: “Come funziona?”, ossia studio e ricerca dei meccanismi neurali, fisiologici e psicologici che ne determinano l’espressione di un tratto;
2. Funzionale: *“cosa fa per l’organismo?”*, ossia come e in che modo qualsiasi adattamento influisca sulle capacità dell’organismo, sulla sua riproduzione e sulla sua sopravvivenza;
3. Ontogenetica: “come influisce nello sviluppo?”, in pratica quali fattori genetici e potgenetici/ambientali contribuiscono allo sviluppo di un tratto;

4. Filogenetica: "come si è sviluppato?", cioè quanto e in che modo la storia evolutiva delle specie ci aiutino a comprendere la struttura del tratto alla luce di caratteristiche ancestrali (MacNeilage 2008:33-34).

Il presente lavoro, partendo da questi 4 punti fondamentali può essere suddiviso in tre parti principali.

La prima parte si colloca all'interno di una prospettiva meccanicistica dove esamino tutti quei tratti anatomici indispensabili per l'articolazione linguistica.

Ho maggiormente analizzato il controllo motorio e articolatorio del linguaggio complesso, cercando di illustrare il ruolo e l'evoluzione dei muscoli, facciali e respiratori, coinvolti nella masticazione durante la fonazione.

Il discorso, infatti, in qualità di linguaggio articolato, è il prodotto di una lenta evoluzione di strutture atte a scopi primari e poi riadattate a nuove funzioni prettamente umane.

Tali meccanismi di rifunionalizzazione, meglio conosciuti con il termine di exaptation, hanno consentito l'articolazione e pertanto la modulazione di suoni complessi con frequenze formatiche; ho posto l'accento sui meccanismi motori di controllo dell'articolazione linguistica, ossia quali sono quegli elementi fisico-anatomici che vengono coinvolti nella produzione del discorso, quali muscoli o fibre nervose sono impiegate e come questi si articolano e si impiegano.

Abbiamo poi, un'analisi dettagliata sull'interazione del sistema respiratorio coinvolto nella produzione di enunciati articolati; vengono riportate e confutate tesi attraverso l'analisi di diverse ricerche scientifiche. Infine ho analizzato anche il sistema articolatorio concentrandomi sulla mandibola.

Inoltre analizzo l'influenza della composizione dei muscoli masticatori sull'efficienza della masticazione;

Nel corso dell'evoluzione degli Ominidi, nel cranio si sono verificate importanti modificazioni tra loro correlate: se da una parte si ha un adattamento al raggiungimento della stazione eretta dall'altro si hanno rimaneggiamenti morfologici che intervengono durante la fase finale di aumento volumetrico delle formazioni encefaliche.

La mandibola presenta inizialmente un aumento di volume con successiva fase di gracilizzazione. Per quanto paradossale possa sembrare, con la diminuzione volumetrica della mandibola si ha un'efficienza nella masticazione poiché esiste un'influenza combinata dell'encefalo e dell'apparato masticatorio sulla morfologia cranica dell'uomo.

La seconda parte della mia ricerca si colloca all'interno di una prospettiva paleoantropologica ed evoluzionistica riguardante la connessione muscolo-scheletrica tra masticazione e il controllo motorio articolare occupandoci dello sviluppo dei denti e della loro correlazione nella masticazione e nella produzione del linguaggio articolato.

Ho tentato di valutare e comparare le diverse forme dentarie nei vari ominidi.

Il sistema masticatorio nel genere umano, consistente di mandibola, muscoli della mascella, denti, e articolazione temporo-mandibolare, è funzionalmente coinvolto non solo nell'alimentazione ma anche e soprattutto nella produzione dell'articolazione linguistica.

Proprio come tutte le caratteristiche anatomiche della nostra specie, anche il sistema masticatorio si è evoluto nel corso della storia.

Indagini su fossili hanno dimostrato l'evidenza di una riduzione delle dimensioni del sistema masticatorio negli Ominidi che, secondo alcuni ricercatori, è stato per lo più causato dai cambiamenti alimentari della specie.

Da un punto di vista scientifico, antropologico e paleoantropologico, lo studio della dentatura è di estrema importanza poiché da esso si possono ottenere diverse informazioni riguardo la biologia, l'ambiente e la cultura delle diverse popolazioni. Del resto di tutto lo scheletro, essi sono la parte che meglio si conserva nel tempo, grazie alla loro particolare struttura mineralizzata, e il loro sviluppo è per lo più sotto controllo genetico. Ciò che ne consegue è che la struttura di base del dente non subisce mutamenti durante l'esistenza dell'individuo, per cui è possibile confrontare tra loro non solo soggetti appartenenti alla medesima famiglia, ma anche gruppi senza un'origine genetica comune al fine di evidenziarne similitudini e diversità.

L'analisi di patologie dentali e della paleonutrizione permette di ricostruire le condizioni di vita delle popolazioni. Essendo la parte dello scheletro che si interfaccia direttamente con l'ambiente, venendo a contatto con il cibo ingerito, i denti presentano marcatori ben definiti, utili nella valutazione delle abitudini alimentari dei soggetti studiati. Inoltre è possibile avere informazioni sui diversi tipi di cultura analizzando l'usura riferibile ad usi extramasticatori della dentizione, oppure le modificazioni intenzionali dei denti a scopo rituale od estetico.

Per esempio, Zilberman & Smith (1992) confrontando la dentatura dell'uomo di Neanderthal con l'uomo moderno, hanno identificato in quest'ultimo lo spessore dello smalto maggiore rispetto al Neandertaliano (ambedue lo hanno ben minore di *Australopithecus*); ciò potrebbe indicare un minor uso della carne da parte dell'uomo moderno. Inoltre la presen-

za di due specie di vermi solitari indica una parziale carnivoria costante e di lunga durata (Henneberg et al. 1998).

Vengono analizzati sia da un punto di vista strutturale che da un punto di vista evolutivo i cambiamenti generazionali anatomici e fisici dei denti, elementi di grande importanza per la loro funzione e la loro costituzione.

Questa seconda parte inizialmente punta l'attenzione sulla netta differenza dei denti che distingue il genere umano dai suoi primati più prossimi: le scimmie.

La mandibola nell'uomo, ad esempio, presenta la protuberanza del mento, il ramo ascendente ha un'altezza di circa il doppio della sua larghezza, l'incisura mandibolare è ampia e il condilo mandibolare e il processo coronoideo sono ben sviluppati.

Nelle scimmie antropomorfe invece non vi è il mento e la simfisi mandibolare invece di essere verticale, è obliqua verso l'interno e presenta un toro mandibolare e la cosiddetta placca scimmiesca.

Successivamente ho focalizzato l'attenzione sull'exkursus evolutivo di cui i denti sono stati soggetto, oggetto e al contempo testimoni.

La loro costituzione dura e mineralizzata, infatti, li ha resi la parte dello scheletro che meglio si conserva nel corso del tempo.

I reperti storici con miglior conservazione, rinvenuti per lo più in territorio Africano, sono caratterizzati da denti e arcate mascellari.

Un evidente riduzione delle dimensioni del sistema masticatorio negli Ominini, secondo alcuni ricercatori, è stato per lo più causato dai cambiamenti alimentari della specie.

Ho analizzato i cambiamenti evolutivi dei denti classificando i nostri antenati in 4 gruppi:

1 Primati (7 - 4 Ma): comprende il *Sahelanthropus tchadensis*, l' *Orrorin tugenensis*, l' *Ardipithecus kadabba*, e il *Ardipithecus ramidus*.

2. Australopithecini (4 - 2.5 Ma) *Australopithecus afarensis*, *Australopithecus africanus*, *Australopithecus anamensis*, *Australopithecus garhi*, *Australopithecus bahrelgazali*, *Kenyanthropus platyops*

3. Ominidi Arcaici megadontici hominini (2.5 - 1 Ma): *Paranthropus robustus*, *Paranthropus aethiopicus*, *Paranthropus boisei*

4. Genere Homo (2 Ma- 18 ka) *Homo rudolfensis*, *Homo habilis*, *H. ergaster*, *H. erectus*, *H. floresiensis*, *H. antecessor*, *H. heidelbergensis*, *H. neanderthalensis*, *H. sapiens*.



Inoltre ho analizzato la rifunzionalizzazione delle strutture masticatorie per altre funzioni. Le modificazioni a carico dell'apparato orale possono essere considerate come il collegamento tra l'assunzione della stazione eretta e l'aumento dimensionale dell'encefalo. La gracilizzazione dell'apparato masticatorio ha consentito, nell'uomo, il raggiungimento di un maggiore equilibrio del capo sulla colonna vertebrale e un conseguente aumento dimensionale dell'encefalo. Già nell'Ergaster infatti si evidenzia un ridotto sviluppo del complesso dentale in rapporto alla massa corporea oltre che ad una modificazione dell'apparato di transito nell'organismo per effetto del nuovo regime alimentare; la riduzione dell'apparato intestinale ha come conseguenza una modificazione dell'apparato respiratorio e della cassa toracica la quale forma ad imbuto capovolto, tipico dei primati attuali, cede il passo ad una forma cilindrica regolare, come presente nell'odierna civiltà umana.

Uno stomaco ridotto è correlato ad una dieta ricca onnivora, con crescente grado di carnivorismo (Rotilio G. 2012:78-79). Altra conseguenza determinata dalla modificazione della mandibola è la riduzione della forma della bocca, avvenuta poiché i denti si sono rimpiccioliti; nel corso dei millenni il terzo molare (meglio conosciuto come dente del giudizio), inizialmente più grande degli altri due, diventa più piccolo e tende a scomparire mentre il primo invece diventa quello di dimensioni maggiori.

Il rimpicciolimento dei denti ha anche influenzato la fisionomia della faccia causando una variazione nella struttura muscolare. La faccia dell'uomo attuale perde l'aspetto "a muso", determinato da un pronunciato prognatismo e presentando tratti meno prominenti.

Il linguaggio stesso subisce profonde variazioni come spiegato da Lennenberg (1984) perché mentre nelle scimmie antropomorfe la mandibola e gli incisivi sono protratti in avanti in un unico piano sulla lingua, nell'uomo gli incisivi e l'apparato muscolo-dentale sono sospinti nella cavità orale, consentendo così un angolo ampio quando la bocca è chiusa. Inoltre l'assenza di grossi canini e la regolarità della dentatura a palizzata, permettono la produzione di suoni aspirati dentali come *f*, *s*, *sh*, *v*, *th*.

Per MacNeilage (2008) la sillaba è emersa dal ciclo mandibolare di apertura e di chiusura durante la masticazione.

La struttura organizzativa specie-specifica della parola è una continua alternanza di apertura e chiusura della bocca, le due fasi che sono soggette alla continua modulazione articolatoria. Il ciclo costituisce la sillaba, e le fasi di apertura e chiusura sono segmenti - vocali e consonanti, rispettivamente.

MacNeilage ipotizza che la sillaba potrebbe essersi evoluta come prodotto secondario del sollevamento (consonante) e abbassamento (vocale) alternati della mandibola, comportamenti già consolidati nell'atto di masticare.

Forse una serie di questi cicli della bocca, prodotti come schiocchi labiali, è stata usata da uomini primitivi come segnale di comunicazione, lo stesso ruolo presente oggi in molte specie di primati. Successivamente, la capacità di vocalizzazione della laringe sarebbe stata abbinata agli schiocchi comunicativi delle labbra, formando sillabe espresse verbalmente. Forse queste ultime sono state usate in un primo tempo per simboleggiare singoli concetti, formando parole. Poi presumibilmente la capacità di formare frasi (linguaggio) si è evoluta quando i primi uomini hanno combinato i due tipi di parole che veicolano il significato principale delle frasi: per gli oggetti (sostantivi) e per le azioni (verbi). (MacNeilage, Rogers, Vallortigara 2009: 52). Col tempo sviluppa un controllo motorio indipendente degli articolatori coordinati.

Poiché la lingua comincia a diventare più indipendente dalla mandibola inizia una variegata produzione di sillabe di reduplicazione ("baba" diventa "bado" e poi "bottle").

MacNeilage arriva a questa conclusione analizzando lo sviluppo motorio del linguaggio attraverso lo studio del bubbling o lallazione ritenendo che il bambino sia capace di acquisire schemi motori e controllo articolatorio attraverso una singola base motoria universale filogeneticamente ed ontogeneticamente derivata dall'attività neuromuscolare legata alla nutrizione.

Ho dedicato ampio spazio anche all'influenza dell'encefalizzazione sui processi cognitivi e all'influenza dell'attivazione motoria del cervello durante il discorso articolato.

L'aumento delle dimensioni dell'encefalo rappresenta uno dei fenomeni più sorprendenti e di difficile spiegazione nel percorso evolutivo dell'uomo. In circa 3 milioni di anni le sue dimensioni si sono quasi triplicate e ciò ha permesso un maggiore sviluppo delle capacità cognitive. La grande potenzialità del cervello umano non risiede soltanto nella sua dimensione, la massa cerebrale dell'uomo è più che doppia, ad esempio, di quella delle scimmie antropomorfe, ma anche nella qualità. In particolare modo l'encefalo si è sviluppato in alcune zone come l'area neocorticale, ovvero in corrispondenza dei lobi temporali che sono la parte che controlla la parola, e dei lobi frontali che sono la sede del pensiero logico. I paleoantropologi che hanno condotto le loro ricerche sui calchi endocranici hanno affermato unanimemente, hanno notato che le aree del cervello che sono cresciute più sensibilmente sono state quelle legate principalmente alle attività linguistiche.

L'attivazione motoria si determina anche quando eseguiamo compiti cognitivi, quale il ricordare una sequenza numerica o discorsi complessi e articolati, ascoltare la musica, immaginare un oggetto visto da un'angolazione differente o, addirittura, provare empatia nel vedere soffrire una persona.

Questo è quanto è stato dimostrato da uno recentissimo studio di ricerca dell'IRCCS Mea, il quale, usufruendo di strumenti di neuroimaging, ha esaminato ed indagato quali siano le aree cerebrali attivate in soggetti occupati a svolgere compiti specifici.

Le aree prese in esame sono soprattutto la corteccia motoria primaria e una regione del lobo frontale. I ricercatori hanno eseguito uno studio di meta-analisi quantitativa combinata con analisi di neuroimaging.

I risultati hanno riportato attivazione funzionale nella corteccia motoria durante sei diverse categorie di compiti cognitivi: l'immaginazione motoria, la memoria di lavoro, la rotazione mentale, l'elaborazione sociale, la lingua e l'elaborazione uditiva.

Compiti di elaborazione sociale, emozioni, empatia attivano l'area 4a dell'emisfero sinistro, compiti linguistici (elaborazione verbi di azione) attivano le aree 4a e 4p di entrambi gli emisferi cerebrali, la rotazione mentale attiva l'area 4a sinistra, la working memory attiva l'area 4a destra, la simulazione mentale dei movimenti attiva entrambe le aree 4a e 4p di sinistra, e l'elaborazione uditiva attiva l'area 4a di sinistra.

Sebbene per decenni gli studi e le ricerche hanno compiuto grandi passi avanti soprattutto nell'identificarne le caratteristiche fisiologiche e anatomiche, è recente la possibilità di esaminare la base genetica del cervello evoluto.

Di recente, infatti, alcuni ricercatori svizzeri hanno isolato un gene chiave per l'evoluzione del cervello.

Forse, proprio quello che ha permesso all'uomo e alle scimmie di fare un salto in avanti rispetto agli altri mammiferi.

Il loro studio ha svelato quanto lo sviluppo di scimmie dotate di un cervello di maggiore complessità, cioè delle progenitrici dell'uomo e dei primati antropomorfi (scimpanzè, gorilla e orango) sia coinciso con la comparsa di un nuovo gene per l'enzima glutammato deidrogenasi, il Glud2.

I dati hanno anche rivelato che l'enzima prodotto dal Glud2 funziona meglio di quello prodotto dal gene primitivo, il Glud1. Poiché quest'enzima è necessario per la produzione del glutammato, uno dei neurotrasmettitori più importanti per il funzionamento cerebrale, i due

autori Fabien Burki e Henrik Kaessmann suggeriscono che il Glud2 potrebbe essere stato determinante per l'aumento delle capacità cognitive.

Il beneficio derivante da queste mutazioni per la funzionalità cerebrale è confermato anche dal fatto che queste nuove caratteristiche del Glud2 sono state protette da ulteriori cambiamenti, conservandosi immutate durante l'evoluzione delle varie specie di primati e dell'uomo. L'encefalizzazione, la si può considerare legata al lento ritmo di sviluppo nell'Homo Sapiens.

Partendo dalla teoria sull'estensione allometrica del cervello, andrò ad analizzare le analogie tra sviluppo del cervello umano con primati e mammiferi.

Questa teoria postula che la progressiva estensione allometrica del cervello della scimmia sia stata la base per l'allargamento encefalico nella stirpe umana.

Una ricerca recente ha confutato quanto sostenuto da questa teoria, dimostrando in effetti che l'encefalizzazione dell'H. Sapiens sia il risultato di cambiamenti evolutivi in tre aspetti della temporizzazione dello sviluppo.

Il primo è una moderata estensione della durata della crescita cerebrale rispetto ai nostri più stretti parenti pervenutici, contrariamente a quanto sostiene la teoria sopra citata secondo la quale nel cervello umano la crescita è notevolmente prolungata nella vita post-natale.

In secondo luogo, il genere umano ha sviluppato un cervello allometricamente derivato rispetto agli scimpanzé e ai primati.

Terzo, negli esseri umani (e in altri primati antropoidi di grado minore) si può visualizzare un rallentamento postnatale, significativo della crescita del corpo in confronto agli altri mammiferi, che influisce direttamente sull'encefalizzazione dell'adulto nella nostra specie.

Ho messo a confronto le varie teorie dello Speech Motor Control ed ho analizzato due teorie circa il dominio delle variabili primarie sul controllo motorio del discorso.

La prima teorizza che le variabili principali controllate siano gesti articolatori tradotte in forme vocali del tratto percepibili direttamente dall'ascoltatore.

Chi parla produce sequenze di suoni, con modelli acustici comprensibili dall'ascoltatore. Gli obiettivi sono specificati in primo luogo in termini di parametri articolatori (gesti, forme vocali).

La seconda invece pone come specifiche parametri del tipo sensoriali (ad esempio, traiettorie uditive).

Solo la teoria sensoriale è stata applicata in forma di un modello quantitativo, che è alla base della neurofisiologia, nel relazionarsi di componenti del modello direttamente a regioni del cervello e funzione neurale.

Per quanto sia forte la volontà di determinare se sia più adeguato un approccio uditivo o sensoriale, la cosiddetta “Teoria della percezione per azione del Controllo” (meglio conosciuta come PACT, ossia Perception-for-Action-Control Theory) mira a mettere in evidenza quanti e quali gaps esistono nei suddetti approcci.

Tra le teorie attive più note troviamo la “Teoria dell’analisi tramite sintesi” (Analysis by Synthesis Theory) (Stevens, House 1972) ma soprattutto la già discussa “Teoria Motoria della percezione del linguaggio” di Liberman (1957; 1967; 1985).

Riallacciandomi alla teoria di Liberman, ho fatto un excursus sulla teoria Hyper & Hypo (iper ed ipo) di Lindblom, nella quale lo studioso cerca di affrontare da un punto di vista fonetico, la variabilità della produzione del parlato, attraverso un continuum che procede dall’hyper-speech (ossia il parlato più accurato e scandito) all’hypo-speech (il parlato informale e trascurato).

Secondo tale teoria l’intelligibilità del parlato è data dalla somma dell’informazione fonetica (signal dependent) e dall’informazione recata dal contesto linguistico ed extra-linguistico (signal independent).

Infine ho cercato di analizzare alcuni studi basati sull’imitazione visiva e uditiva nei bambini per poter infine comprendere se le teorie meccanicistiche, quindi i tratti biologici del linguaggio, hanno più probabilità di spiegare l’apprendimento del linguaggio rispetto alle teorie motorie.

La scoperta del sistema mirror introdotto da Rizzolatti ha cambiato l’approccio psicologico a una molteplicità di campi come l’empatia, le emozioni, il linguaggio (Caruana, Borghi, 2013). Tanto il neurofisiologo Vittorio Gallese quanto il linguista George Lakoff hanno proposto che il sistema concettuale e linguistico umano potrebbero proprio aver avuto origine dal funzionamento di sistemi neurali associati alla simulazione sensori-motoria (Gallese, Lakoff 2005). Studi recenti hanno puntato l’attenzione sulla negazione linguistica e su come quest’ultima possa intervenire nel processo simulativo (Kaup, Lüdtke, & Zwaan 2005). Indagini di neuro-imaging funzionale sono riuscite a mostrare importanti indizi sulle strutture neurali attivate quando comprendiamo una frase che descrive uno stato di cose negato.

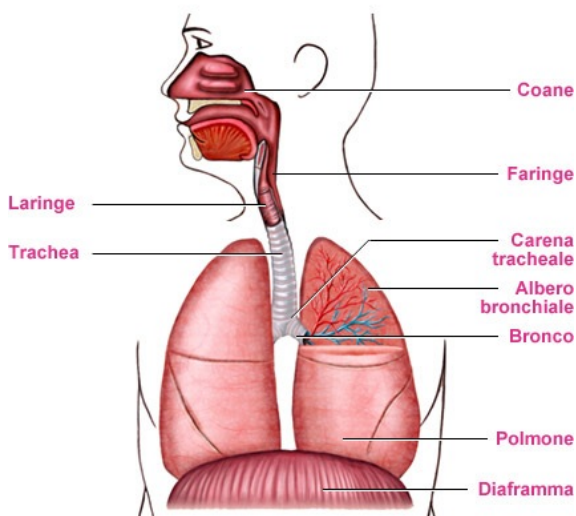
# CAPITOLO I

## La Prospettiva Meccanicistica

Molteplici sono i testi scientifici che riportano come più di 100 muscoli vengano coinvolti nella produzione del discorso articolato. Tuttavia la complessità del linguaggio quale sistema motorio va oltre il conteggio dei muscoli.

Il sistema di produzione dell'articolazione linguistica è infatti caratterizzato da diversi tipi di organi distinti per le loro proprietà biomeccaniche e istologiche che possono essere raggruppati in classi strutturali e funzionali (Kent 2003:296) o meglio ancora in tre sottosistemi:

- a. Sistema respiratorio (comprendente i polmoni);
- b. Sistema vocale (la laringe);
- c. Sistema articolatorio (comprendente il muscolo della bocca, della faringe e il velo faringeo).



**Fig. 1: i tre sottosistemi dell'articolazione linguistica**

## 1.1 Il Sistema Respiratorio

Il sistema respiratorio è costituito dai polmoni al centro, dalla trachea che fuoriesce da loro, dalla gabbia toracica e da altre strutture toraciche e addominali che circondano quest'ultima e che agiscono sui polmoni stessi.

Da un punto di vista anatomico la gabbia toracica, detta comunemente torace, è formata da ben 12 costole ed è tenuta insieme dalla muscolatura intercostale interna ed esterna ed è chiusa in basso da un muscolo particolare chiamato diaframma che la separa dalla cavità addominale. (Limone 2001).

La respirazione si compone di due distinte fasi: inspirazione, processo passivo, e l'espiazione.

Un uomo adulto impiega circa quattro secondi per ogni respiro (esattamente due secondi per inspirare e altri due per espirare) (MacNeilage 2008).

Età del soggetto, sesso o stato fisico (quale gravidanza, denutrizione), tipo di respirazione toracica o addominale, sono fattori condizionanti della fonazione (Limone 2001:59).

Il discorso si verifica esattamente durante la fase espiratoria ed implica il mantenimento costante della pressione polmonare per l'intera espressione, che può durare diversi secondi. In questo modo si crea un flusso di aria che viene modulata da altri due sottosistemi di produzione dei suoni del discorso.

Quando respiriamo, la gabbia toracica si espande mentre avviene l'appiattimento del diaframma, un muscolo a cupola sotto i polmoni. Poiché i polmoni sono attaccati a queste due strutture da un vacuum, i bordi adiacenti di quest'ultimi sono aspirati verso l'esterno e verso il basso, causando l'aumento del volume del polmone. Contemporaneamente, la pressione dell'aria in essi diminuisce, causando l'inspirazione per compensare questa diminuzione.

Quando si inspira, al contrario, dobbiamo azzerare i muscoli inspiratori. In questo caso la gabbia toracica e il diaframma tornano nella loro posizione di riposo, grazie al ritorno elastico.

Ciò porta una diminuzione di volume del polmone, che richiede un flusso d'aria (espiazione). Quando parliamo, dobbiamo controllare attivamente la fase espiratoria allo scopo di mantenere costante la pressione polmonare.

Come si fa? Dopo aver respirato, continuiamo a contrarre i nostri muscoli inspiratori a livelli inferiori per fare in modo che il sistema delicatamente scenda verso il basso, riducendo il tasso di ritorno elastico. Dopo che la gabbia toracica e il diaframma raggiungono la loro

posizione di riposo, iniziamo attivamente a schiacciare i polmoni con una diminuzione del loro volume. Le due manovre servono a mantenere la pressione polmonare a livello costante sopra i livelli atmosferici necessari per rendere i suoni del discorso (MacNeilage 2008:66-67).

Durante il discorso, quindi, il ruolo del sistema respiratorio è quello di fornire la pressione dell'aria che guida le vibrazioni della laringe e le risorse del naso nel tratto vocale per suoni come "s" e "t".

Per poter riassumere, la respirazione durante il discorso differisce dalla respirazione a riposo nel fatto che la fase espiratoria è considerabilmente più lunga della fase inspiratoria e le inspirazioni devono essere accordate in modo appropriato "(...) per servire alla domanda della comunicazione (...)" (Löfqvist, Björn 1994: 823).

### **1.1.1 Studi sull'attività respiratoria nel discorso**

Diversi sono gli studi relativi all'attività respiratoria nel discorso. Rilevanti risultano gli esperimenti condotti, grazie a tecniche sempre più sofisticate dell'EMG, presso l'Università di Edimburgo nel 1950 e riassunti negli articoli scientifici di Peter Ladefoged (1967).

La ricerca si concentra e si sviluppa intorno a due principi fondamentali. Innanzitutto, la potenza media del parlato è fornita da azioni dei muscoli respiratori che controllano la pressione dell'aria nei polmoni. L'allungamento di quest'ultimi dopo un'inspirazione massima, genera una forza, il ritorno elastico, che può produrre una pressione relativamente alta, chiamata "relaxion pressure".

In queste circostanze i muscoli intercostali esterni e il diaframma regolano attivamente la pressione subglottica, impedendo una diminuzione troppo rapida del volume polmonare. Così come il volume di aria nei polmoni (e corrispondentemente la "relaxation pressure") diminuisce, allo stesso tempo è meno necessaria l'attività intercostale esterna; più il volume polmonare si riduce, più la pressione subglottica richiesta per il discorso diventa maggiore della forza generata dal ritorno elastico dei polmoni e vari muscoli espiratori diventano attivi.

Gli studi condotti ad Edimburgo hanno dimostrato che i muscoli intercostali interni sono maggiormente attivi durante un discorso colloquiale, laddove i volumi polmonari sono simili a quelli nella respirazione tranquilla. A livelli più elevati di volume polmonare i muscoli intercostali esterni hanno avuto un ruolo significativo nel controllo della caduta della gabbia toracica, diminuendo così la pressione generata dal ritorno elastico dei polmoni.



A livelli più bassi di volume polmonare invece altri muscoli (come il retto addominale e gli obliqui interni) completano l'azione degli intercostali interni.

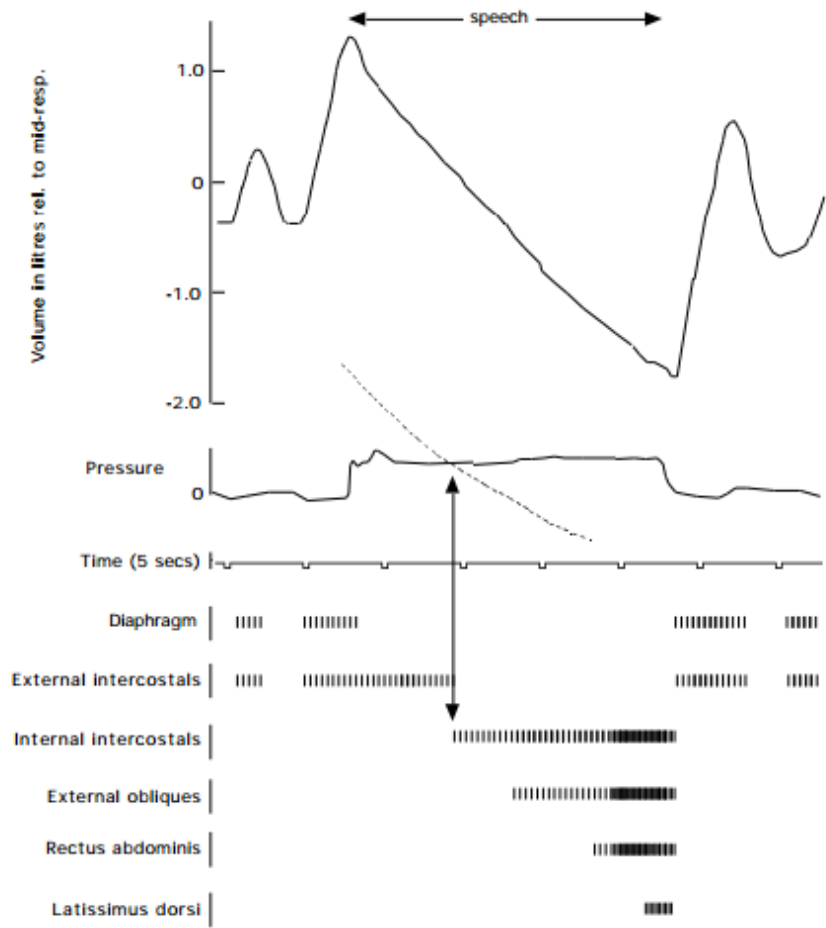


fig. 2

La figura 2, ridisegnata da Draper, Ladefoged, e Whitteridge (1959), è molto interessante; la parte superiore della figura è costituita da due registrazioni:

1. il volume di aria nei polmoni rispetto al livello medio-respiratorio, ottenuto posizionando il diffusore in un pletismografo corporeo;
2. la pressione subglottica come indicato da un palloncino nell'esofago appena sotto le corde vocali.

Il lavoro degli studiosi di Edimburgo ha dimostrato che il palloncino (fig. 2), alto nell'esofago, registrava una pressione interna tra la pressione dell'aria nella trachea immediatamente sotto le corde vocali e la pressione intra-pleurica.

Lo speaker ha prodotto due cicli normali respiratori, prendendo poi un respiro profondo prima di contare da 1 a 32 ad un livello di conversazione normale.

La parte inferiore della figura 2 è una rappresentazione schematica dell'attività dei muscoli respiratori derivata da molte registrazioni durante azioni simili.

I risultati esposti, sino ad adesso dalle ricerche presso l'Università di Edimburgo, sono stati riportati da diversi studiosi quali Newsom, Davis et. al. (1970) e Campbell (1968): essi, dimostrando quella che oggi è considerata l'equivalenza tra i vari muscoli del sistema respiratorio a mantenere la pressione media subglottica, hanno evidenziato che quando si mantiene la pressione subglottica per un dato livello di voce (morbido, medio o alto), vengono utilizzati diversi muscoli in funzione del volume di aria nei polmoni.

Altra affermazione della ricerca scozzese è quella che ritiene che le sillabe accentate siano prodotte da aumenti di potenza respiratoria sopra la media, solitamente dovuti ad attività aggiuntive dentro i muscoli intercostali interni.

I risultati iniziali, per quanto considerevolmente qualitativi, hanno fornito a livello quantitativo pochi dati.

A quel tempo, prima che l'uso del computer permettesse agli investigatori di calcolare l'attività media in diverse ripetizioni di una frase, il più affidabile modo di quantificare il grado di attività muscolare era di osservare il tasso di sparo di una singola unità motrice (Ladefoged, 2002:51). Trovare una singola unità durante l'uso di elettrodi ad ago relativamente grandi di certo non è stato facile.

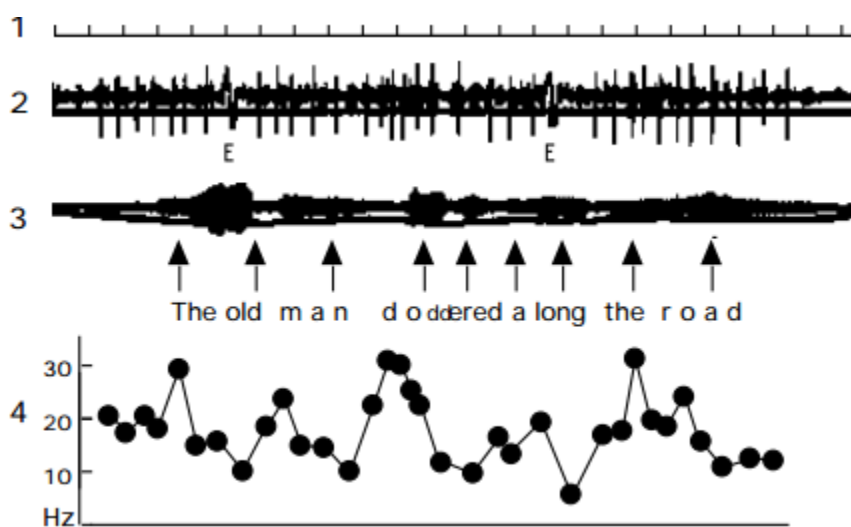


fig. 3

Il gruppo di Edimburgo ha pubblicato solo una registrazione di questo tipo. In tale occasione il tasso di sparo varia da circa 5 a oltre 30 al secondo, con punte del tasso di aumento che si verificano poco prima delle sillabe accentate.

Gli scoppi di attività prima delle sillabe accentate erano facili da osservare in molte delle fotografie riportate dagli oscilloscopi su cui sono stati registrati i dati.

Il gruppo di Edimburgo era quindi ragionevolmente certo che le sillabe accentate nel discorso colloquiale fossero state in genere accompagnate da attività dei muscoli intercostali.

Tuttavia, come dimostrato da Ohala (1990) il ruolo della muscolatura respiratoria in rapporto ai picchi locali della pressione subglottica è ancora piuttosto incerto e soprattutto controverso.

### **1.1.2 Critiche e sviluppo delle teorie**

Non poche furono le critiche sollevate contro queste teorie scozzesi. Interessanti furono gli studi effettuati da Hixon e Weismer (1995).

I due studiosi rilevarono che le registrazioni delle pressioni non hanno tenuto conto della pressione intra-pleurica. Essi affermano che: (a) gli errori nell'instaurazione di un contesto di informazioni meccaniche; (b) le discrepanze tra i dati e le affermazioni su di essi; (c) Contrassegnare le caratteristiche predittive tra i dati e le altre conoscenze sulla respirazione; (d) inadeguatezza nell'acquisizione, nella rappresentazione e nell'interpretazione dei dati elettromiografici.

Nuovi ed interessanti metodi investigativi negli ultimi 50 anni hanno permesso di ampliare la ricerca e lo studio sull'attività dell'apparato respiratorio durante il discorso.

Ladefoged (2002) riporta ben due esperimenti molto interessanti. Il primo riguarda lo studio dell'attività respiratoria impiegata per il mantenimento della pressione media subglottica.

## a) ESPERIMENTO 1.

La prima serie di informazioni nuove riguarda il modo in cui la pressione subglottica è mantenuta durante un enunciato quando il volume del polmone varia.

Come riportato da Loeb e Gans ( 1986) cavie per quest'esperimento sono stati tre soggetti, due donne ed un uomo. I problemi maggiori sono stati riscontrati negli esperimenti con l'uomo anche se i risultati complessivi sono stati in linea con gli altri due soggetti.

Sia nei muscoli intercostali interni, sia in quelli esterni e nel retto addominale, sono stati inseriti degli elettrodi in lega di platino raffinato.

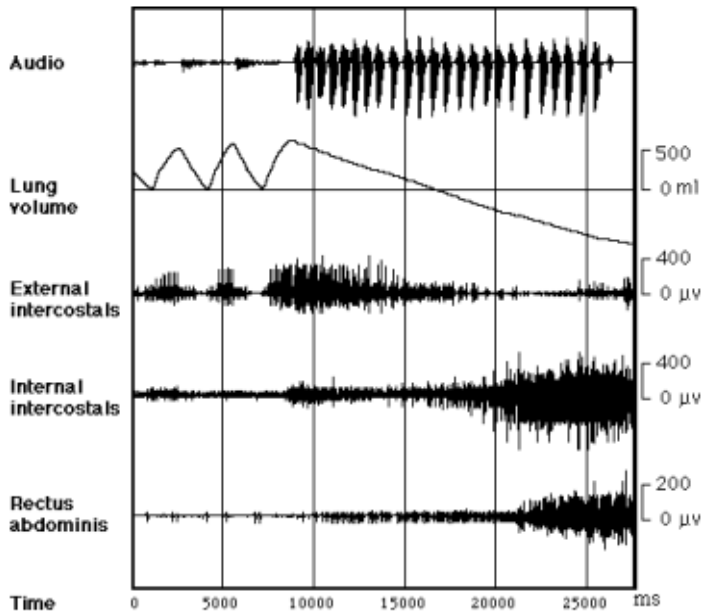
La porzione esposta del filo era di 3 mm di lunghezza. Gli elettrodi nel muscolo del retto addominale sono stati inseriti circa 5 cm dalla linea mediana. Diversi siti di inserzione sono stati processati per gli intercostali esterni e interni. Le migliori registrazioni degli intercostali interni sono stati ottenuti da elettrodi inseriti nell'ottavo spazio intercostale nella linea medio-ascellare, e le migliori registrazioni dei muscoli intercostali esterni sono stati ottenuti da elettrodi nello stesso spazio sia nella stessa posizione o 9 cm posteriormente al punto di inserimento negli intercostali interni.

I muscoli sono stati identificati dalle loro funzioni, presumendo che erano intercostali esterni quelli attivi nell'inspirazione, e che gli intercostali interni non erano attivi durante la respirazione tranquilla, ma durante l'espirazione forzata.

I soggetti parlavano in una maschera (SciconRD) che registrava il flusso d'aria orale e che conteneva un microfono atto a registrare il segnale audio.

Inizialmente i soggetti parlanti erano invitati a respirare dentro e fuori normalmente per due cicli respiratori.

Essi quindi ripetevano la sillaba [pa] quante volte ritenessero opportuno durante un singolo respiro. Il segnale audio, i dati EMG da tre siti, e la velocità del flusso d'aria dalla bocca sono stati registrati su un computer, utilizzando il sistema di SciconRD per multicanale AC e registrazione DC.



**fig.4 tipico insieme di registrazione**

L'unica cosa che è stata fatta è il fornire una registrazione del volume polmonare prendendo ogni campione della registrazione del flusso d'aria orale e sostituendolo con la somma parziale di tutti i campioni fino a quel momento raccolti. Ciò che ne consegue è una stima del volume polmonare relativa ad ogni momento.

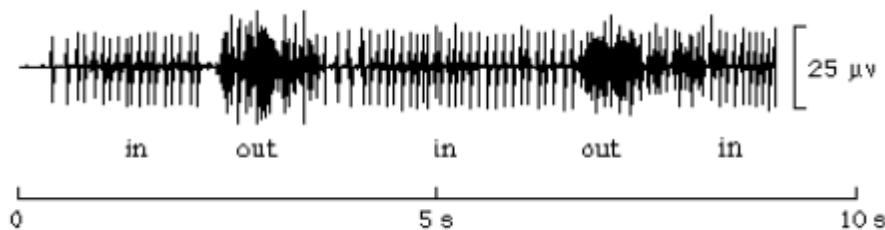
La prima registrazione EMG mostra l'attività dei muscoli intercostali esterni durante i due cicli della respirazione quiete e l'inspirazione prima di parlare. Questa attività continua nella prima parte della parola durante la quale la gabbia toracica deve essere sostenuta per evitare che vi sia una pressione subglottica troppo elevata.

Poiché la parola continua e il volume di aria nei polmoni diminuisce, l'attività intercostale esterna diminuisce mentre l'attività intercostale interna (la seconda registrazione EMG) aumenta.

L'attività del retto addominale, così come mostrato nella terza registrazione EMG, si verifica non appena l'espressione verbale è iniziata, diventando sempre più forte dopo che l'attività intercostale interna ha iniziato ad aumentare.

Ogni risultato EMG può essere esaminato per la prova di cross-talk. Ci sono in pratica ben due possibilità da considerare. Innanzitutto una registrazione da un singolo elettrodo presumibilmente mostrandone l'attività intercostale esterna, può contenere cross-talk dalle attività intercostali interne e viceversa.

In secondo luogo, le registrazioni di due elettrodi che mostrano presumibilmente l'attività di due diversi muscoli possono essere registrati attraverso qualche attività dal muscolo stesso.



**Fig.5 attività sia dei muscoli intercostali interni che dei muscoli intercostali esterni**

L'uso simultaneo di muscoli antagonisti è una nuova scoperta che richiede ulteriori indagini. Il gruppo di Edimburgo aveva previsto un cross-over tra attività inspiratorie ed attività espiratorie che avviene nel punto superiore del volume polmonare a riposo, la "relaxation pressure" era appena sufficiente a fornire la potenza per la vibrazione delle corde vocali. Questo modello di attività può rappresentare co-contrazione per stabilizzare i sistemi muscolo-scheletrici contro fluttuazioni stocastiche e perturbazioni esterne prendendo a sfruttare le proprietà meccanistiche intrinseche del muscolo attivo (Loeb, Brown e Cheng, in press; Hogan, 1984).

Le ricerche sul mantenimento della potenza respiratoria media richiesto durante il discorso suggeriscono che gli studi precedenti di Edimburgo erano nella giusta strada, anche se gli "speakers" possono ottenere un controllo preciso dall'uso simultaneo dei muscoli antagonisti.

## **b)ESPERIMENTO 2**

La seconda serie di nuovi dati riguarda l'idea che i muscoli respiratori vengano utilizzati attivamente per produrre i picchi locali di pressione subglottica, ossia: attività muscolare respiratoria associata a sillabe accentate.

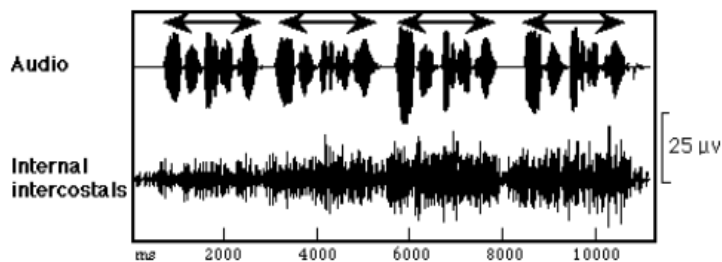
Questo risultato è stato ampiamente accettato tanto da Hixon (1987) quanto da Hixon e Weismer (1995), anche se, come precedentemente detto, non è tuttavia stato dimostrato

quantitativamente in grande misura poiché vi era una sola registrazione nell'attività di una singola unità motoria.

La seconda serie di esperimenti fornisce un piccolo passo verso l'ulteriore quantificazione della attività muscolare, e illustra una tecnica per misurare l'attività respiratoria associata con differenze di accenti.

Ognuno delle due donne speakers (da qui in poi denominate speaker 2 e speaker 3) hanno ripetuto la frase "*The old man doddered along the road*"<sup>1</sup> un numero svariato numero di volte.

Mentre Speaker 3 non ha prodotto il minimo di 10 ripetizioni valide ritenute necessarie per determinare l'attività media di espressioni, Speaker 2 ha prodotto tre enunciati in cui la frase è stata ripetuta quattro volte, e quello in cui è stata ripetuta cinque volte.



**Fig.6: attività muscoli intercostali interni durante le 4 ripetizioni della frase "*The old man doddered along the road*".**

**I confini delle quattro espressioni sono mostrati dalle coppie collegate di frecce in alto.**

L'attività intercostale interna aumenta nel corso dell'enunciato. In un singola registrazione è difficile vedere aumento dell'attività associate a particolari sillabe.

Adams (1979) non ha trovato alcuna prova nelle esplosioni (*burst*) localizzate di attività intercostale interne corrispondenti alle sillabe accentate quando registrava l'attività EMG dagli intercostali interni.

Per poter determinare se un aumento dell'attività intercostale interna si verifica durante particolari parti di una frase, l'attività EMG viene calcolata attraverso la media calcolata tra diverse espressioni.

---

<sup>1</sup> La stessa frase che è stata utilizzata per calcolare il tasso di firing della singola unità motoria nei primi studi di Edimburgo

Mentre in studi precedenti, l'attività è stata in genere calcolata in 20 o più ripetizioni di una particolare frase (Hirose, 1971; Kewley-Port, 1973), in quello riportato da Ladefoged (2002) solo 17 sono stati gli enunciati disponibili. L'attività EMG nel muscolo intercostale interno è stato campionato a 3000 Hz.

Per ogni espressione la procedura media mobile è iniziata 300 ms prima della vocale di *The* e calcolato per 3.000 punti. E 'stato poi riavviata 300 ms prima del rilascio del prima [d] in *doddered*, e calcolato per altri 3.000 punti. Infine, si è riavviato 300 ms prima del rilascio della ultima consonante, la [d] in *road*, e calcolato per ulteriori 3.000 punti. Viene determinata la media della valori assoluti di ciascuno dei 9.000 punti in ognuno dei 17 enunciati.

I risultati che ne derivano nell'attività EMG durante una frase e l'ipotesi che tali variazioni sono associati al grado di attenzione richiesto per particolari sillabe non sono irragionevoli. Un'ulteriore conferma del ruolo dei muscoli respiratori nel controllo dell'accento è data dall'espressione della sillaba [pa]. Ciascuna delle 25 ripetizioni di questa sillaba può essere considerata come un monosillabo sottolineato. I muscoli intercostali esterni rimangono attivi per la prima parte della enunciato, compreso un numero di ripetizioni di questa sillaba. All'inizio ciascuna di queste sillabe rilassano leggermente i muscoli intercostali esterni in modo da consentire l'aumentare della pressione dell'aria sotto e corde vocali. Quando l'espressione procede i muscoli intercostali interni prendono il sopravvento, producendo contrazioni e la gabbia toracica aumenta la pressione subglottica.



Fig.7

I muscoli respiratori operano come un sistema complesso per controllare la pressione dell'aria nei polmoni, e quindi la potenza respiratoria viene utilizzata per il discorso.

A volte i muscoli sono coinvolti tirando la gabbia toracica giù, e talvolta in modo semplice permettendo il collasso più rapidamente.



A seconda delle circostanze, alcune sillabe possono, o non possono coinvolgere altre azioni articolatorie come avente una maggiore apertura delle ganasce, o una maggiore intensità. Essi possono o non possono avere esplosioni di attività intercostale interna anche se viene evidenziata sempre una maggiore energia respiratoria.

Sulla base degli esperimenti riportati sembra che il modello di attività muscolare riportato nei primi studi di Edimburgo siano in gran parte corretti. La potenza media del discorso è fornita mediante azioni dei muscoli respiratori che variano in base al volume di aria nei polmoni.

I muscoli intercostali esterni controllano il flusso d'aria in uscita quando si parla con alti volumi polmonari, mentre quelli intercostali interni, il retto addominale e altri muscoli diventano più attivi quando il volume polmonare diminuisce.

I risultati sono coerenti con l'ipotesi generale che il Sistema Nervoso Centrale è in grado di controllare la pressione subglottica, utilizzando diverse combinazioni di forze elastiche. Un secondo aspetto degli studi scozzesi è anche supportato da questi esperimenti, anche se quello che dovrebbe essere aggiunto agli esperimenti del 1950 è che gli speakers possono realizzare un controllo preciso con l'uso simultaneo di muscoli antagonisti.

## 1.2 Il Sistema vocale

Il sistema vocale, o apparato fonatorio, riveste un ruolo estremamente importante nella resa vocale, fornendo alla voce umana un timbro unico e personale.

L'aria percorre le cavità verso l'esterno attraversando la laringe, all'interno della quale, posizionate tra la parte posteriore della cartilagine tiroidea e quelle aritenoidee, si trovano le corde vocali (o pliche vocali), cioè lamine di tessuto elastico rivestito da mucosa che vibrano al passaggio dell'aria espirata producendo suoni di varia frequenza.

La funzione della fonazione viene invece svolta dalla glottide, una fessura posta tra le corde vocali attraverso il quale passa l'aria espirata dai polmoni.

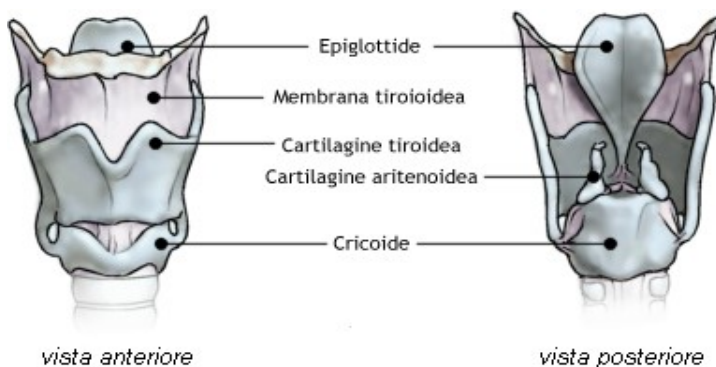
L'apertura della glottide e la tensione delle corde vocali sono determinate da una serie di muscoli trasversali altamente specializzati che li mettono in relazione con lo scheletro laringeo. Durante la fonazione la glottide è chiusa e viene sollecitata dall'aria espirata, le corde vocali si spostano sia lateralmente sia dall'alto verso il basso con un movimento pressoché circolare; di conseguenza tanto è maggiore la velocità del flusso d'aria sulla glottide tanto più forte risulta la voce. Così la "rima glottidale", cioè lo spazio tra le due pliche, è più ampia negli uomini rispetto alle donne (tra i 17mm e i 24mm contro i 13-17mm) (Marini, 2008), anche la lunghezza delle corde vocali, anatomicamente prestabilita intorno ai 2-3 cm circa, nell'uomo risultano esser sono più lunghe di circa 30%. Oltre alle corde vocali concorrono alla formazione di suoni articolati (vocali, consonanti sonore), sia le vie aeree superiori e i seni paranasali, come cassa di risonanza, sia la cavità buccale come strumento di modulazione: "(...) *if a larynx was all we had (...) we would not be able to produce most of the distinctions in vowel and consonant quality that typify human speech (...) pharynx, mouth and nose. Together these constitute the Human Superlaryngeal Vocal Tract (...)*" (Lieberman 2006:77) , il quale "(...) agisce come un filtro acustico che determina la qualità fonetica dei suoni(...)" (Lieberman 2007:40).

Andiamo ad analizzare in modo concreto e più dettagliato il complesso sistema fonatorio, partendo dallo studio dell'anatomia della laringe, utile ad identificare gli elementi fondamentali per la fonazione.

### 1.2.1 La Laringe: studi anatomici e funzionali

La laringe è un organo, mediano, a forma di imbuto, occupante la parte media e anteriore del collo che da un punto di vista anatomico è costituita da una serie di cartilagini che ne formano lo scheletro, dalle articolazioni e dai legamenti che le uniscono, dai muscoli estrinseci ed intrinseci, dalla mucosa laringea che circonda internamente una cavità comunicante con la faringe in alto e la trachea in basso (Amitrano 2010).

Un'importante funzione della laringe è quella di lavorare come lo sfintere (Lindqvist 1972:2) e presenta due mansioni basilari: quello di catturare l'aria e quella di proteggere il sistema subglottico.



**Fig.8**

Essa è attiva anche durante la respirazione (Faaborg-Andersen 1957:18) e le sue funzioni possono essere:

1. Funzione sfinterica: impedisce tanto la penetrazione del cibo nelle vie aeree durante la deglutizione, quanto l'inalazione di eventuali corpi estranei (Magnani 2010).
2. Funzione respiratoria: la laringe assicura il passaggio dell'aria dalla cavità orale alla trachea e quindi al polmone.
3. Funzione fonatoria: consiste nella creazione dei suoni attraverso delle vibrazioni provocate dalla apertura o chiusura della glottide.

Queste tre funzioni sono strettamente correlate tra loro e si esplicano grazie alla cosiddetta "motilità della laringe".

## a. Le cartilagini

Le cartilagini della laringe sono modificazione dei primi anelli della trachea e si distinguono in:

- la cartilagine cricoide: dalla tipica forma ad anello (arco) con castone (lamina) posta nella parte posteriore, verso l'interno del corpo, essa funge da supporto per altre tre cartilagini.
- Cartilagine tiroidea: è la più grande delle cartilagini laringee, posta tra l'osso ioide in alto, dove due corna si rivelano fondamentali per tensare le corde vocali, e la cartilagine cricoide, in basso, dove prende la forma di uno scudo formato da due lamine laterali che formano un angolo diedro: il famoso pomo d'Adamo. Questa cartilagine protegge gli elementi interni della laringe.
- Cartilagini aritenoidee: posizionate sulla lamina cricoidea, ai due lati della linea mediana, si articolano le due cartilagini aritenoidee, piccole e mobilissime capaci di ruotare, spostarsi all'infuori e all'indietro in modo da separarsi o da mettersi a contatto; esse sono importantissime e hanno la forma di una piramide triangolare.

In queste cartilagini si inseriscono le parti posteriori (quelle più interne) delle corde vocali, nonché i muscoli necessari per la loro manovra in apposite aree chiamate apofisi vocali e apofisi muscolari.

- Cartilagine epiglottide: dalla forma di una racchetta la cui estremità inferiore si inserisce nell'angolo rientrante della cartilagine tiroidea. È estremamente mobile e fondamentale per non permettere il passaggio di liquidi e solidi verso la trachea.

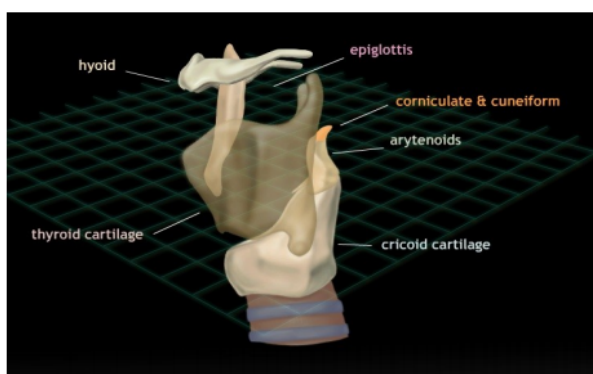


Fig.9

## **b. I muscoli della laringe**

I muscoli della laringe si distinguono in estrinseci ed intrinseci; i primi hanno origine e si inseriscono sulle strutture proprie dello scheletro laringeo mentre i secondi hanno origine o inserzione su parti ossee o su organi vicini. Proprio la muscolatura intrinseca interviene nell'espletamento della funzione sfinterica, respiratoria e fonatoria ragion per cui, ne viene dato un livello di descrizione più dettagliato e finalizzato allo scopo del mio lavoro di ricerca.

### **Muscoli estrinseci**

I muscoli estrinseci arrivano alla laringe dallo sterno, dall'osso ioide, dalle pareti faringee. Tra i maggiori ritroviamo il muscolo sternioideo che dalla faccia posteriore del manubrio dello sterno va sino alla lamina della cartilagine tiroidea del proprio lato, e che contraendosi solleva la laringe, e il muscolo tiroideo, inserito in alto sull'osso ioide, in basso sulla cartilagine tiroidea. Con punto fisso sull'osso ioide esso solleva la laringe e al contempo abbassa l'osso ioide.

La connessione della laringe con l'osso ioide è molto importante; giacché il bordo superiore della cartilagine tiroidea è unito attraverso la robusta membrana tiroidea a quello inferiore dell'osso ioide, mentre il bordo superiore di quest'ultimo dà a sua volta inserzione ai muscoli della lingua, è molto facile comprendere l'associazione funzionale tra i movimenti della lingua e quelli della laringe.

Tra i muscoli minori invece troviamo lo stilofaringeo, il faringopalatino e il costrittore inferiore della faringe.

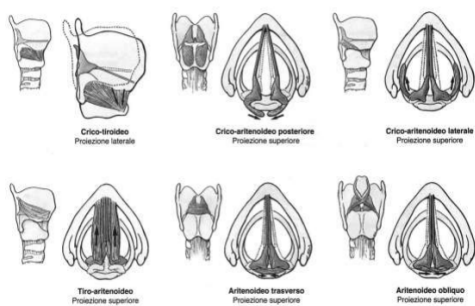
### **Muscoli intrinseci**

I nomi stessi di questi muscoli indicano i loro punti di inserzione. Il muscolo tiroaritenideo (TA), la cui attività controlla direttamente la modulazione delle corde vocali, compone in gran parte il corpo di quest'ultime. Benché l'attività di questi muscoli possa ridurre le corde vocali, aumentare la loro tensione interna, e cambiarne le forme, ad oggi però non è ben capito in quale modo le azioni del TA possano alterare i biomeccanismi della vibrazione delle corde vocali.

Il TA proviene dalla cartilagine aritenoidica e si inserisce sulla cartilagine tiroidea. Lungo la maggior parte della sua lunghezza risulta approssimativamente triangolare in sezione trasversale con un bordo sporgente nelle vie aeree (Lindqvist 1972).

All'esterno della scatola laringea è posizionato il muscolo cricotiroideo, che contraendosi fa basculare la cartilagine tiroidea su una struttura sottostante (cartilagine cricoide) alla quale essa è articolata. Tale movimento, simile all'abbassamento della visiera di un elmo del quale la cartilagine cricoide sia la mentoniera, determina un allungamento della corda, un aumento della sua tensione longitudinale e una diminuzione della sua massa. La contrazione combinata dei due sistemi muscolari: tiroaritenideo (accorciatore) e cricotiroideo (allungatore) modula la dimensione delle corde vocali, producendo le diverse frequenze della voce e le diverse qualità della voce (maggiore attività del tiroaritenideo: tono più grave, timbro glottico più pieno; minore attività del tiroaritenideo: tono più acuto, alleggerimento del timbro glottico) (Magnani 2010).

Tra i muscoli intrinseci troviamo inoltre i crico-aritenoidei posteriori (abduuttori) e la loro azione è quella di ruotare la cartilagine aritenoidea indietro e verso l'esterno divaricando le corde vocali. Ne consegue una abduzione, allungamento e assottigliamento delle corde vocali e i crico-aritenoidei laterali (adduttori) i quali, contraendosi, portano lateralmente i processi muscolari delle aritenoidei e medialmente i processi vocali. Ciò determina una costrizione della rima glottidea, abbassamento, allungamento ed assottigliamento delle corde vocali.



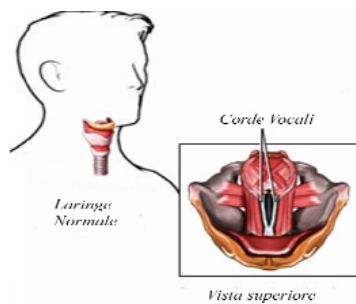
**Fig.10**

### **c. le corde vocali**

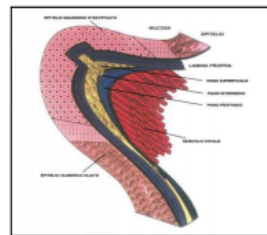
Sia cartilagini che muscoli sono associati a ghiandole, membrane connettive, legamenti e sono ricoperti da una mucosa che ne arrotonda le forme fornendo a questo organo una forma vagamente simile ad una clessidra; essa si presenta infatti come una cavità dotata di due porzioni (superiore ed inferiore) ampie e di una porzione (mediana) ristretta, nella quale troviamo due paia di pliche mucose ad andamento orizzontale, le quali delimitano due scanalature chiamate ventricoli del Morgagni o, semplicemente, ventricoli laringei.

Le pieghe determinano tra loro una fenditura disposta in senso anteroposteriore. Quelle della coppia soprastante prendono il nome di pliche ventricolari o corde vocali false poiché

non svolgono alcuna funzione fonatoria: si tratta di due spesse lamine costituite da una piega mucosa contenente i muscoli ventricolari, sono più corte e più lontane tra loro delle corde vocali vere. La fenditura che esse delimitano è detta glottide falsa. Le corde vocali vere (o pliche vocali) costituiscono la coppia sottostante, formata non solo dalle pieghe della mucosa e da una membrana fibroelastica, ma anche da un fascio di fibre striate da essa ricoperte: i muscoli vocali (arivocale e tirovocale). Sono queste corde a determinare la fonazione. Il termine "corde vocali" è dovuto al medico francese Antoine Ferrein, il quale, pubblicando a Parigi le sue osservazioni (1741), il quale immaginò nelle labbra della glottide delle corde, simili a quelle di un violino, capaci di vibrare e di suonare mentre l'aria era l'archetto che le mette in gioco, lo sforzo del torace e dei polmoni come la mano che muove l'archetto stesso. Il loro aspetto è quello di un nastro bianco mobilissimo, a sezione triangolare, con un bordo mediano quasi tagliente. Sono lunghe 16-20 mm nella donna e 20-25 mm nell'uomo ed in quest'ultimo sono più spesse che nella donna perciò la voce maschile ha una tonalità molto più bassa di quella femminile.



**fig.11**



**fig. 12**

Le pliche vocali non sono semplicemente muscoli rivestiti di mucosa.

Hirano (1975) propose la teoria di considerare la corda vocale come una struttura formata da diverse strutture sovrapposte dalle proprietà meccaniche distinte dei diversi componenti, con proprietà ondulatorie della mucosa del bordo libero ( Hirano 1975; Hirano 1976).

Da un punto di vista macroscopico vengono individuati tre strati : l'epitelio, che riveste la corda vocale ed ha uno strato squamoso; la lamina propria, il cui strato superficiale è costituito da una grande quantità di sostanza amorfa e da scarso tessuto fibroso ( il che lo rende molto cedevole e adatto alla vibrazione cordale); questa parte di tessuto è chiamato spazio di Reinke ed è la sede in cui si formano la maggior parte delle lesioni benigne e maligne delle corde vocali; infine il muscolo già nominato tiroaritenideo le cui fibre mediali costituiscono la porzione muscolari delle corde vocali ( è infatti detto muscolo vocale).

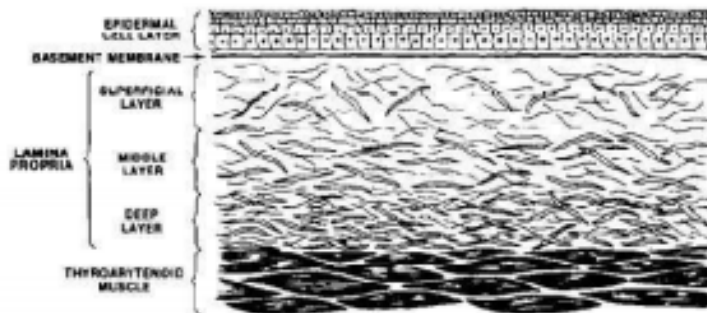


Fig. 13

Gli strati descritti da Hirano danno origine alla cover-body theory (1985) secondo la quale da un totale di 5 strati si passa a 3, tenendo presente il proprio valore funzionale. La copertura è formata da epitelio e parte superficiale della lamina propria e prende appunto il nome di cover, la parte intermedia formata dalla lamina propria è denominata legamento vocale, capace di cedere senza danneggiarsi e con caratteristiche di rigidità ed elasticità capaci da permettere allo strato superficiale di vibrare ed infine il corpo formato appunto dal muscolo vocale.



Tale teoria presuppone l'esistenza di aree diversificate che vanno dall'elasticità superficiale alla rigidità della porzione profonda mentre lo spessore della corda vocale è sede di un gradiente di rigidità e di elasticità, ideale per la possibilità che si attui la vibrazione vocale e base essenziale della cover-body theory (Hirano 1976).

<b>CORDA VOCALE</b> (Hirano, 1975)	EPITELIO	Spessore tra 0.05-0.1 mm; racchiude un tessuto fluido; rivestimento della corda vocale squamoso, regione sovra e sotto glottica colonnare ciliato.	
	LAMINA PROPRIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strato superficiale: spessore 0.3 mm (tra 0.2-0.5 mm) con basso numero di fibre elastiche e collagene poco intrecciate.</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strato intermedio: fibre elastiche che misurano 0.5-1.5 mm di diametro, tra le quali si distinguono notevolmente in minore quantità, aree di fibre collagene.</li> <li>• Strato profondo: fibre collagene a trama fitta che si uniscono a formare banderelle che decorrono parallelamente al bordo del muscolo vocale</li> </ul>	<b>LEGAMENTO VOCALE:</b> spessore 0.8 mm (tra 0.5-1.1mm) ricco di fibre elastiche e collagene
	MUSCOLO	Fibre mediali del muscolo tiroaritenoidico vengono generalmente chiamate "muscolo vocale" e costituiscono la porzione muscolare delle corde vocali.	

**Fig.14 Ultrastruttura delle corde vocali**

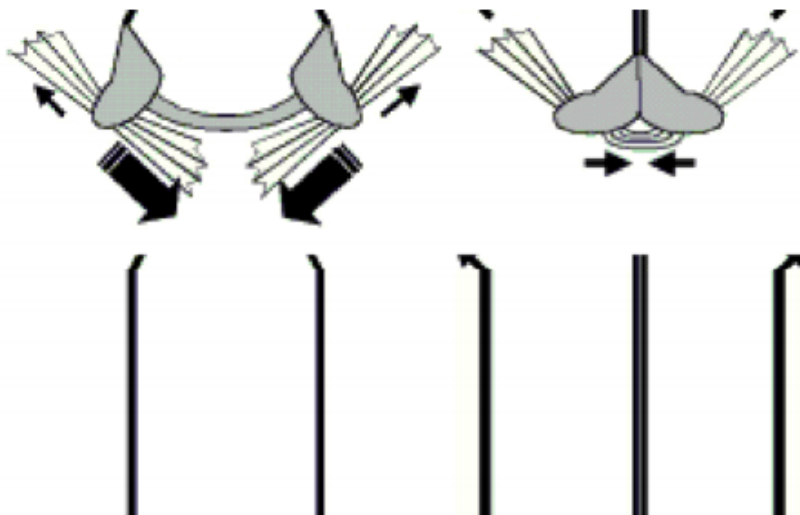
### **1.2.2 Laringe: teorie sui meccanismi di produzione vocale**

Diverse sono le teorie che hanno tentato di chiarire non solo la modalità attraverso la quale si realizza la vibrazione delle corde vocali ma anche i meccanismi che ne controllano e modificano l'intensità.

Raoul Husson nel 1953 elaborò la ben nota teoria neurocronassica secondo la quale l'oscillazione cordale non sarebbe un fenomeno meccanicistico ma neuro-muscolare attivo determinato dalla funzione del muscolo tiroaritenoidico, la cui frequenza di contrazione regolerebbe la frequenza fondamentale del soggetto.

Secondo Husson "(...) quando un soggetto parla o canta, ma soprattutto quando emette vocali a grande intensità, egli percepisce ad ogni momento un insieme complesso di sensazioni interne che provengono da tutte le zone e regioni attivate dal suo sforzo di emissione. Fra queste alcune sono percepite con un'intensità particolare: esse provengono dalla regione palato-naso-facciale e dalla cintura addominale. E' la loro percezione simultanea che costituisce propriamente lo schema corporeo vocale del soggetto, che dipende principalmente dalla vocale emessa, dalla sua intensità e dalla sua frequenza(...)" (Husson 1962: 261).

Questa teoria pone quindi l'enfasi sul ruolo attivo delle corde vocali, sulla frequenza emessa, e di conseguenza sull'altezza del suono, la quale a sua volta dipende dalla frequenza degli impulsi nervosi e non dalla pressione sottoglottica. In seguito ad un potenziale d'azione del nervo ricorrente, i muscoli arivocale e tirovocale (che costituiscono il muscolo vocale propriamente detto) si contraggono, determinando l'apertura della glottide e permettendo all'aria sottoglottica di accedere alla cavità faringo buccale fintanto che le pli- che non si riaccollano per esaurimento del potenziale. Siccome un nervo non può trasportare più di 300 impulsi al secondo, anche se Husson ammette che il ricorrente possa eccezionalmente trasportarne 500, questa teoria non spiegherebbe l'esistenza di registri vocali (nel canto) superiori a 500 Hertz. L'autore fornisce una spiegazione ipotizzando la possibilità del ricorrente di passare da un regime monofasico (300 Hz) ad un regime bifasico o addirittura trifasico o quadrifasico (Brandi, Salvadori 2004 :42).



**Fig.15 : la glottide in respirazione e in fonazione**

Per quanto per anni tale teoria fu molto criticata e ad oggi non è più accettata poiché i presupposti su cui si basa non sono stati confermati da indagini sperimentali, presenta alcuni aspetti validi quali ad esempio la presenza di alcune aree corticali specializzate nella funzione fonatoria.

La teoria ad oggi ritenuta la più credibile è quella mioelastica aerodinamica, ipotizzata per la prima volta nel 1898 da Ewald (teoria mioelastica) ed elaborata e modificata da molti autori quali Perellò (teoria muco-ondulatoria, 1962) Van der Berg e Vallencien (teoria mioelastica completata, 1963).

La teoria mioelastica di Ewald fornisce una spiegazione del meccanismo di produzione del suono, secondo cui le caratteristiche dell'emissione sonora dipendono dalla pressione sottoglottica, quindi dal soffio fonatorio e le corde vibrano in modo passivo. La trachea viene vista come un tubo e le pliche come due strutture elastiche che, grazie alla loro elasticità, sono naturalmente addotte, ossia chiuse in maniera ermetica. Al di sotto di esse, nella trachea, la pressione aerea aumenta e va ad esercitare una forza tale da separare le corde per un tempo molto limitato, poi la loro stessa struttura tende a riportarle nella posizione precedente perché la pressione, proprio per la fuoriuscita d'aria, diminuisce, quindi non è più abbastanza alta da aprire la glottide.

Questa concezione ha suscitato non poche critiche, la prima delle quali pone l'enfasi sull'impossibilità, secondo tale teoria, di far variare l'intensità di un suono senza variarne l'ampiezza, visto che le pliche vibrano passivamente e in base alla forza del soffio fonatorio (Brandi, Salvadori 2004:41). Janwillem Van der Berg, noto scienziato e ricercatore danese, nel suo seminario "*Myoelastic- Aerodynamic Theory of Voice Production*" (1958) ha

ipotizzato che tale indipendenza fra i due parametri poteva spiegarsi con l'adattamento dello spessore delle corde alla variazione del flusso aereo ad opera di barorecettori, in grado di provocare riflessi regolatori, e creare una variazione di spessore simile a quella delle labbra dei trombettisti.

Contributo importante per spiegare il fenomeno della vibrazione è stato quello di Perellò (1962) e della sua teoria muco-ondulatoria della fonazione, per cui la componente vibrante non sarebbe costituita dai margini liberi delle corde vocali, ma dalle pieghe mucose che si creano sulla faccia infero-mediale delle corde vocali sotto la spinta della pressione sottoglottica e che scorrendo fino in prossimità del bordo libero cordale, oscillano permettendo la libera fuoriuscita di aria tra le corde vocali stesse, analogamente a quanto la teoria mioelastica aveva ipotizzato.

L'osservazione endoscopica della glottide per via retrograda durante la fonazione ha confermato, secondo Salimbeni e Alajmo (1982) che la mucosa bassa vibra su di un piano muscolare che, una volta contratto, funge da supporto, senza partecipare al movimento vibratorio.

Appena prima della fonazione, il piano glottico tende a chiudersi; durante questo movimento l'attività muscolare del muscolo crico-aritenoideo posteriore diminuisce progressivamente, allo stesso ritmo con cui si verifica la contrazione del muscolo crico-aritenoideo laterale. Quando il piano glottico è chiuso, l'attività del muscolo cricoaritenoideo posteriore si annulla mentre è incrementata quella dei muscoli adduttori. L'energia aerodinamica necessaria per l'apertura del piano cordale è creata dal mantice polmonare che a glottide chiusa genera una pressione sottoglottica in grado di vincere le forze adduttorie. A causa dell'improvvisa fuga d'aria, si verifica una rapidissima diminuzione della pressione sottoglottica con il prevalere delle forze mioelastiche di adduzione. La fuga d'aria e il conseguente flusso d'aria attraverso la sottile fessura glottica, determina per effetto Bernoulli, una retro aspirazione che crea un'onda mucosa che si propaga dalla faccia inferiore della corda vocale fino al ventricolo e contemporaneamente contribuisce alla chiusura transitoria del piano glottico. L'insieme di questi fenomeni prende il nome di "ciclo vibratorio" e si ripete mediamente 110-130 volte nell'uomo e 200-250 volte nella donna definendo dunque quella che è la  $f_0$  (frequenza fondamentale).

### **1.3 Una possibile specializzazione dell'articolazione linguistica: le fibre muscolari a lenta tonicità**

L'articolazione linguistica è una delle caratteristiche che rendono unico nel suo genere l'essere umano (Han et al. 1999); altri mammiferi producono suoni vocali per comunicare, ma questi mancano di quella precisione, stabilità e modulazione volontaria presente solo nella fonazione umana.

Come abbiamo già accennato prima la maggior parte dei suoni del discorso umano sono prodotti dalla vibrazione delle corde vocali, i cui suoni, o foni, sono articolati da ostacoli interposti dalla lingua, dalle labbra e dal velum palatale.

La precisione della fonazione umana è in parte dovuto alla evoluzione di nuovi meccanismi di controllo neurale centrali determinanti per la regolarizzazione della contrazione delle corde vocali, in parte alla specializzazioni delle corde vocali stesse. Ancora più importante, solo gli esseri umani (e scimpanzé) hanno connessioni corticali dirette per i motoneuroni laringei nel nucleo ambiguus (Kuypers 1958a, b).

Il muscolo tiroaritenoidico (TA) compone largamente l'aspetto delle corde vocali.

Teoricamente, l'attività dei TA può ridurre le corde vocali, aumentare la loro tensione interna, o cambiare le loro forme, con ogni azione avente un effetto distinto sul suono prodotto dalla vibrazione delle corde vocali. Tuttavia al momento è poco conosciuto come ognuna di queste azioni del TA possa alterare la produzione del suono (Han et al. 1999).

Il TA proviene dalla cartilagine aritenoidea e si inserisce sulla cartilagine tiroidea. Lungo la maggior parte della sua lunghezza appare approssimativamente triangolare in sezione trasversale con un bordo sporgente nelle vie aeree.

Si ritiene che la metà laterale del TA sia più coinvolta con la chiusura delle corde vocali ed è denominata "parte muscolare", poiché inserisce principalmente sul processo muscolare della cartilagine aritenoidea.

Solo la metà mediale del TA vibra in realtà durante il discorso, quindi, alcuni anatomisti l'hanno definito "parte vocale" a causa del suo presunto ruolo nella produzione vocale (ibid.). Ora, questa suddivisione del TA in compartimenti vocali e muscolari è stato oggetto di controversia in quanto non vi è alcun limite fasciale o altro evidente riferimento anatomico che li separa (Sonnenson 1960).

Tuttavia, è stato in più studi dimostrato che la parte vocale differisce da quella muscolare grazie ad una gran varietà di sottili differenze anatomiche che ne suggeriscono specializzazione nelle contrazioni finemente controllate: un'alta percentuale di lenta contrazione

delle fibre muscolari (Sanders et al. 1994), fusi muscolari (Sanders et al. 1998a), altri elementi sensoriali (Konig and von Leden 1961), e la disposizione unica delle sue fibre muscolari (Sanders et al. 1998b; Wang et al. 1998). In contrasto, la parte muscolare contiene una maggiore percentuale di fibre muscolari a contrazione quasi nessun fuso muscolare; si presume sia specializzata, come già detto, per una chiusura rapida delle corde vocali per proteggere le vie respiratorie.

Nello studio scientifico proposto da Han et. al. viene esaminato il TA soprattutto per la presenza e la distribuzione di fibre muscolari toniche lente (STF), un raro tipo di fibre muscolari con proprietà contrattili uniche. Le STF, distribuite principalmente nella parte vocale del TA, non si contraggono in una sola azione, come la maggior parte delle fibre muscolari, ma le loro contrazioni sono prolungate, stabili, precisamente controllate e resistenti alla fatica.

Sono state prese in esame nove corde vocali contenenti TA complete, prelevati da sette umani adulti di età compresa tra i 19 e i 70 anni, cinque maschi e due donne di etnicità variabile: quattro caucasici, due afro-americani e un ispanico.

Sei laringi sono state rimosse in autopsia da soggetti non aventi alcun sintomo di difetto neuromuscolare o laringeo; un TA venne estratto dalla corda vocale non coinvolta o toccata dal cancro di una laringe malata.

Tutti i campioni non fissi sono stati montati in OCT Compound<sup>2</sup> e congelati in isopentano raffreddato per immersione diretta in ghiaccio sintetico. Sezioni congelate frontali sono state tagliate a -25°C dalla fine della parte anteriore del TA sino alla superficie frontale della cartilagine aritenoidea.

La presenza e la distribuzione di fibre muscolari a tonicità lenta (STF) in ogni TA sono state esaminate attraverso microscopio a immunofluorescenza usando anticorpi monoclonali che reagiscono con l'isoforma della catena pesante della miosina (MyHC). Le fibre muscolari a tonicità lenta sono state individuate in tutti e nove i TA esaminati e la presenza della isoforma della catena pesante della miosina a lenta tonicità è stata confermata.

Basato su criteri morfologici, immunocitochimici e biochimici, lo studio dimostra che le fibre muscolari con caratteristiche di STF sono presenti nel muscolo tiroaritenoideo della laringe umana.

Ad oggi, questo è il secondo muscolo umano che contiene queste fibre molto insolite, l'altro è il muscolo extraoculare (EOM). Sebbene le fibre lente toniche sono presenti nel mu-

---

<sup>2</sup> ossia una formazione di glicoli e resine solubili in acqua che fornisce del suddetto campione attraverso sezionamento criostato a temperature pari o sotto i -10° C

scolo extraoculare di molti altri animali, quali anfibi (Kuffler and Williams 1953; Pierobon-Bormioli et al. 1980; Pliszka and Strzelecka-Golaszewska 1981; Morgan and Prose 1984; Franzini-Armstrong 1984) e degli uccelli (Ovalle, 1978, 1982; Simpson 1979; Pierobon-Bormioli et al. 1980; Morgan and Proske, 1984; Zhanget al. 1985; Hikida 1987; Kennedy et al. 1991) ma sono estremamente rare nei mammiferi. L'area vocale all'interno delle corde vocali nei ratti, nel porcellino d'india, gatto, cane, maiale, scimmia, e scimpanzé non mostra la stessa morfologia distintiva del fascicolo muscolare visto nella area vocale umana (Sanders et al. 1998b). Infatti questi animali hanno pochissime fibre muscolari nella parte superiore del tratto vocale, area questa composta da tessuto connettivo. Recentemente Lucas et al. (1995) hanno riscontrato che l'alta velocità di contrazione nel coniglio del muscolo tiroaritenideo è associata con un raro tipo di MyHc, precedentemente trovato solo nel muscolo extraoculare.

Questa miosina "super-veloce" è probabilmente un adattamento evolutivo della chiusura rapida della glottide per migliorare i meccanismi di difesa delle vie respiratorie. Merati et al. (1996) hanno identificato un nuovo gene MyHC veloce chiamato 2L, espresso nel muscolo tiroaritenideo del ratto. Questo gene sembra rappresentare un ottavo del gene MyHC per il muscolo scheletrico dei vertebrati. Da una analisi omologa, la sequenza 2L è più simile a MyHC extraoculare.

La produzione della voce è pure importante per molti mammiferi e questo è riflesso nel grado di specializzazione all'interno dell'apparato vocale delle varie specie, così come un numero aumentato di fibre muscolari a lento "spasmo". Per quanto, l'apparato vocale umano è diventato molto più specializzato rispetto a quello presente in altri mammiferi.

La voce umana è caratterizzata da un suono stabile con un ampio spettro di frequenza che può essere precisamente modulato e le fibre a lenta tonicità possono contribuire a questa abilità.

La frequenza della vibrazione delle corde vocali è la frequenza basica sottostante il suono prodotto dalla laringe ed è chiamato frequenza fondamentale. Questa frequenza fondamentale oscilla intorno da circa 100HZ negli uomini a circa 300HZ nelle donne. Oltre a produrre frequenze fondamentali, le corde vocali producono anche un ampio spettro di armoniche che si estendono fino a centinaia di hertz, e sono queste frequenze importanti per gli aspetti linguistici dell'articolazione linguistica. Specificatamente, ogni vocale è percepita come una combinazione di due o più frequenze armoniche più alte, chiamate frequenze formantiche.

La lingua e lo spazio aereo della faringe sopra la laringe filtra la frequenza formantica dall'ampio spettro delle frequenze sonore prodotte dalle corde vocali. Nell'asse antero-posteriore del muscolo vocale le fibre toniche lente sono di norma localizzate vicino la parte mediale (centrale) del muscolo; esse sono più corte della lunghezza dell'intero muscolo, non si originano dalla cartilagine aritenoidea e si inseriscono nella cartilagine tiroidea. Poiché la locazione mediale delle fibre toniche lente corrisponde alla parte più mobile delle corde vocali vibranti, questo supporta un ruolo diretto delle fibre toniche nel controllo di questa vibrazione.

In conclusione, le fibre toniche lente possono influenzare la voce aiutando nella percezione, influenzando la vibrazione delle corde vocali direttamente, e/o interagendo con le fibre muscolari a contrazione rapida presenti all'interno del muscolo vocale. La presenza delle fibre toniche lente all'interno del muscolo vocale può essere la sua più unica e funzionalmente significativa specializzazione, sebbene ci siano altre specializzazioni che senza dubbio giocano ruoli importanti.

L'acquisizione del linguaggio ha portato con esso certi disordini che sono distintamente umani nella natura, come la balbuzie e la disfonia spasmodica.



## 1.4 Sistema articolatorio

Il suono, realizzato a livello delle corde vocali, viene amplificato e modificato attraverso una serie di cavità d'aria che collegano la laringe all'esterno (Magnani 2008:182) denominate vocal tract ( da qui in poi VC) .

Una volta amplificato, ciò che è prodotto dalle corde vocali viene elaborato dagli organi articolatori, gli stessi che si impongono come ostacoli sul suo cammino, impedendone o deviandone il flusso o determinando una variazione di volume e configurazione della cavità orale detta anche cavità di risonanza o vocal tract, composta principalmente dalla faringe, la cavità orale e la cavità nasale. Giacché le pareti che limitano tali organi sono parzialmente costituite da tessuto muscolare, volume e forma del VC è modificabile e la presenza di un ponte levatoio (il velo palatino) posto tra retro della bocca e cavità nasali permette di escludere quest'ultima quando necessario. (ibid.)

Il VC riveste un ruolo di estrema importanza nel risultato finale del prodotto vocale. Il segnale glottico, infatti, è caratterizzato dalla presenza di un'armonica fondamentale (prima armonica) ad alta intensità, seguita da armoniche a intensità decrescente, che occupano la parte inferiore e centrale dello spettro, e da alcuni toni, posti all'estremo superiore della scala delle frequenze (overtones), anch'essi dotati di alta energia acustica. Le caratteristiche del segnale all'origine sono quindi prevalentemente influenzate dall'armonica fondamentale, che ne è la componente acustica prevalente. Nel viaggio compiuto dall'aria vibrante in direzione delle labbra, le armoniche presenti subiscono un complesso filtraggio ad opera del vocal tract, il quale amplifica alcune componenti, smorzandone altre.

I raggruppamenti armonici elettivamente amplificati sono detti formanti. Essi danno ragione della profonda diversità di aspetto del segnale in uscita dalle labbra rispetto a quello prodotto a livello glottico e possono venir identificati e numerati in senso crescente sulla scala delle frequenze. Nella voce eufonica ne sono riconoscibili cinque, variamente rilevanti, dal punto di vista energetico.

Le formanti veicolano gran parte degli attributi della voce, costituendo l'immagine acustica specifica di ciascun tipo di emissione. Non solo la presenza delle singole formanti ma la loro possibilità di migrare sull'asse delle frequenze, verso i gravi o gli acuti, e la loro elettiva amplificazione si deve ad atteggiamenti specifici del tratto vocale, che si qualifica così come il principale artefice del risultato acustico finale. Da un punto di vista anatomico esse sono rappresentate da tutti gli spazi che l'aria, messa in vibrazione a livello delle corde vocali, incontra nel suo viaggio verso l'ambiente (Magnani 2010:44).

## **1.5 Organi Articolatori**

Come sopraccitato, ciò che viene prodotto dalle corde vocali viene al contempo elaborato dai organi articolatori che si pongono come ostacolo nel suo cammino, deviando o impedendo il flusso. Tali organi modificano e frammentano il suono permettendo la realizzazione finale del discorso. Tali organi sono: la lingua, le labbra e il velo palatino (articolatori mobili); i denti, il palato duro e gli alveoli dentari (articolatori fissi).

### **1.5.1 La Lingua: Basi Fisiologiche ed anatomiche**

La lingua è una delle strutture più importanti coinvolte nella produzione di discorso. Infatti, è il principale contributore per la modellatura delle cavità orale e di conseguenza il risultato acustico.

È principalmente un organo che non ha una struttura ossea o cartilaginea, ed è per questo che riesce a mantenere un volume costante anche quando i muscoli si contraggono.

Attraverso una selettiva contrazione di determinati muscoli la lingua può creare un supporto rigido che permette la contrazione di certe fibre muscolari, generando così movimenti selettivi mirati (Takemoto 2001).

I muscoli della lingua sono ben nove suddivisi in estrinseci ed intrinseci.

I muscoli estrinseci, ben cinque, e connettono la lingua alle strutture vicine, come la mandibola, l'osso ioide, il palato, l'osso temporale e la faringe; essi si possono schematizzare come segue:

- Genioglosso (GG): è il muscolo più grande della lingua a forma triangolare che si allunga nel centro della lingua, ed ha origine nella spina mentale della mandibola e s'inserisce nell'osso ioide.

Si tratta di un complesso differenziato di fibre che comprende la maggior parte della massa della lingua e, a seconda di quali fibre si contraggono, produce la protrusione della punta della lingua, oppure movimenti in avanti e verso l'alto (Grimaldi 2009).

La sua influenza può essere suddiviso in tre azioni principali: la contrazione delle sue fibre posteriore produce un movimento in avanti e verso l'alto del corpo lingua, mentre le sue fibre anteriori tirano la parte anteriore della lingua verso il basso e il reclutamento della parte media appiattisce la lingua della regione velare (Gerard et. al. 2003).

- Stiloglosso (SG): ha forma allungata, che si origina dall'apice del processo stiloideo (osso temporale) e dalla parte alta del legamento stilomandibolare e da qui si porta in basso, in avanti e medialmente per inserirsi nell'apice e nel setto linguale. Contraendo-

si muovono la lingua superiormente e dorsalmente, causando un accumulo del dorsum della regione velare (Grimaldi 2009).

- Il geniohyoid è il principale componente del pavimento bocca. Attraverso la sua azione sull'osso ioide, contribuisce allo spostamento della radice lingua e determina la protrusione della lingua.( ibid.)
- loglosso (IG): si origina dalla parte laterale della faccia superiore dell'osso ioide e dal grande corno, da qui si porta in alto e medialmente per inserirsi sulle facce laterali del setto linguale fino all'apice. Contraendosi ritrae e abbassa il corpo della lingua.
- Genioioide (GI) e Mioioide (MI): si originano dall'osso ioide e si estendono verso la parte anteriore della mandibola. Si trovano alla base della bocca e permettono l'elevamento dell'osso ioide e la lingua.

I muscoli intrinseci hanno origine e sono inseriti all'interno della lingua stessa, formando una matrice tridimensionale di fibre motorie così suddivisa (Kent 1997):

- muscolo superiore longitudinale (SL): si colloca immediatamente sotto la superficie della lingua, e consente il suo accorciamento e la curvatura verso l'alto della lamina.
- muscolo inferiore longitudinale (IL): si trova al di sotto del muscolo superiore longitudinale e consente di abbassare la punta della lingua.
- muscolo trasverso e verticale (TV): il primo va da lato a lato della lingua, mentre il secondo si estende inferolateralmente dal dorso della lingua: entrambe consentono l'abbassamento e l'appiattimento della superficie linguale. In sintesi, questo complesso muscolare è responsabile dei movimenti fini della lingua ed è coinvolto nei più delicati adattamenti necessari alla lingua per assumere forme diverse (Grimaldi 2009) .

### **1.5.2 Movimenti articolatori della lingua e sinergie muscolari**

La lingua è una delle strutture più importanti coinvolte nella produzione di discorso. Infatti, è il principale contributore per la modellatura delle cavità orale e di conseguenza per il risultato acustico. Poiché la lingua umana è altamente mobile e deformabile aventi un numero virtualmente infinito di gradi di libertà meccanici e senza limiti anatomici chiaramente identificabili, è difficile specificare e caratterizzare tanto la sua forma quanto la sua posizione nella cavità orale.

Gli articolatori della lingua stessa, in genere, sono stati associati al profilo del tratto vocale in base a caratteristiche di geometria semplice (Mermelstein 1973) o a qualche forma di analisi fattoriale (Harshman et al. 1977; Maeda 1988).

Per quanto osservazioni empiriche abbiano suggerito che il contributo per la forma del tratto vocale può essere determinato da un numero relativamente piccolo di componenti controllati in modo indipendente detti anche articolatori (Sanguineti et al. 1997:11), l'ipotesi che anche il controllo della lingua possa essere caratterizzata in termini di un piccolo numero di articolatori non deve essere visto solo come un utile strumento descrittivo.

Ohman (1966) basandosi sull'osservazione che i movimenti relativi alle consonanti e le vocali tendono ad essere indipendenti uno dall'altro, ha sostenuto che ci possono essere almeno tre articolatori indipendenti della lingua vale a dire corpo (responsabile per i movimenti fronte/retro e up-down osservati in vocali), apice (legato al movimento della punta della lingua) e dorsum; gli ultimi due sono principalmente coinvolti nella generazione di consonanti.

Ogni articolatore può corrispondere a un diverso sistema meccanico, costituito da gruppi muscolari differenti, forse in parte sovrapposti.

Perkell (1969) ha suggerito che insiemi distinti di muscoli controllano la posizione e la forma della lingua, e, soprattutto, ogni articolatore può essere associata con un "piccolo" numero di muscoli, due o tre al massimo. In particolare, sulla base di alcune differenze nella loro fisiologia, è stato suggerito che i muscoli estrinseci sono principalmente responsabili di posizionamento della lingua nella cavità orale (e, quindi, per gesti vocale), mentre i muscoli intrinseci sono responsabili per il controllo a forma di lingua (e, quindi, per le consonanti).

Recentemente, Maeda e Honda (1994) hanno tentato di relazionarsi agli articolatori, definiti "a priori" in termini di caratteristiche geometriche del profilo mid-sagittale della cavità

orale (Maeda 1988), a diversi sets di muscoli, basando i loro studi sull'attività elettromiografica (EMG) misurata nelle configurazioni del tratto vocale selezionato.

L'identificazione degli articolatori, oltre che delle loro sinergie muscolari associate, deve quindi essere effettuata tenendo conto della biomeccanica della lingua.

Vittorio Sanguineti et. al (1997)., hanno indagato il problema dei movimenti articolatori della lingua mediante un semplice modello biomeccanico della lingua, nel quadro dell'ipotesi del punto equilibrio (EP) del controllo motorio ( $\lambda$ -modello) (Feldman 1966; Feldman et al. 1990; Feldman e Levin 1995).

In particolare, un'analisi basata sul modello di dati empirici sui movimenti della lingua durante il discorso ha permesso loro di identificare un certo numero di gruppi muscolari o "sinergie" che sono "al massimo indipendente" dal punto di vista meccanico, così individuando articolatori in base la disposizione geometrica dei muscoli della lingua.

## 1.6 La mandibola

I muscoli della mandibola si attivano durante un variegato range di compiti motori quali la masticazione, il mordere, il discorso articolato e la deglutizione;

Per eseguire questa varietà nelle attività, essi devono essere in grado tanto di controllare in modo estremamente preciso la posizione della mandibola quanto di applicare forze mutevoli e diverse, attraverso una combinazione eterogenea di fibre.

Essi subiscono una contrazione isotonica in fase di abbassamento e di sollevamento della mandibola, la quale, durante la parte finale della fase di sollevamento, cambia gradualmente da isotonica ad isometrica (Dubner et al. 1978).

Se la contrazione isometrica durante l'occlusione consente lo sviluppo di tensione necessaria per lo schiacciamento e masticazione del cibo, nella produzione del discorso, i muscoli della mascella raramente, subiscono contrazione isometrica con concomitante sviluppo della tensione.

Ci sono inoltre prove che testimoniano quanto le fasi di abbassando e di alzamento del ciclo di masticazione abbiano una diversa traiettoria mandibolare rispetto quelle prodotte dagli stessi movimenti impiegati durante il discorso (Gibbs, Messerman 1972).

Ad esempio le escursioni tardive della mascella durante la masticazione sono sostanzialmente assenti nel movimento durante l'articolazione linguistica e l'abbassamento verticale della mandibola nella masticazione è in genere da due a quattro volte superiore alla abbassamento verticale della mascella nel discorso ( Tuller et al. 1979).

I muscoli attivi durante gesti mandibolari che non sono normali componenti del discorso (ad esempio stringere, retrusioni estreme e aperture a cerniera) non possono essere considerati funzionali nell'articolazione linguistica. Essi possono anche variare rispetto alla velocità media di movimento della mandibola; i movimenti mandibolari inclusi nei gesti del discorso sono in genere più veloci rispetto ai movimenti della mandibola quando non avviene l'articolazione.

La velocità di movimento necessaria per l'articolazione è funzionalmente correlata al tempo di contrazione delle unità motorie nei muscoli interessati.

Il tempo di contrazione (ossia il tempo intercorso tra l'inizio della contrazione al picco della tensione) è stato misurato in almeno tre muscoli sollevatori della mandibola, Mediale pterigoidea (MacNeillage et al. 1979), Massetere e Temporale (Yemm 1977). Il tempo medio di contrazione del Mediale Pterigoideo è di circa la metà del tempo di contrazione del Massetere e del Temporale. Se i diversi tempi di contrazione riflettono le differenti velocità di mo-

vimento richieste dei muscoli, in tal caso i movimenti articolatori e non articolatori possono essere effettuati da diversi gruppi muscolari .

In particolare, i tempi di contrazione più lunghi nel Massetere e nel Temporale sarebbero più adattati ai movimenti quando non c'è articolazione, mentre il tempo di contrazione più breve del pterigoideo mediale sarebbe più adattato ai movimenti durante il discorso

### 1.6.1 Muscoli della mandibola

Come sopra accennato, la mobilità della mandibola tanto nella masticazione quanto nella fonazione si deve essenzialmente ad un gruppo di muscoli del cranio e del collo distinti in elevatori e abbassatori.

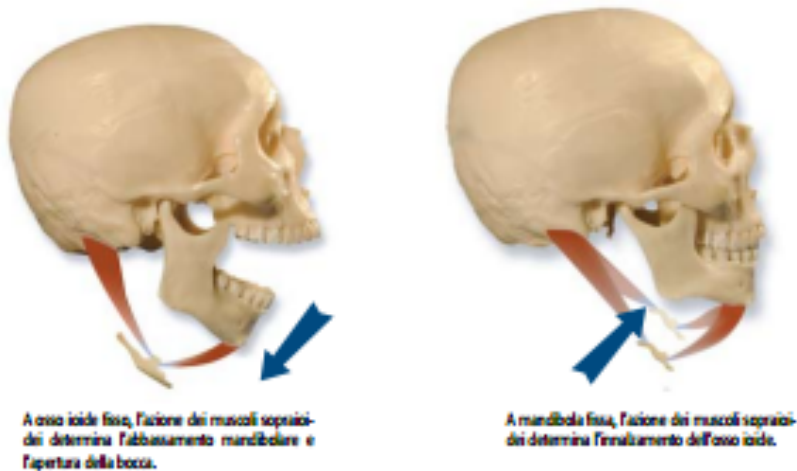
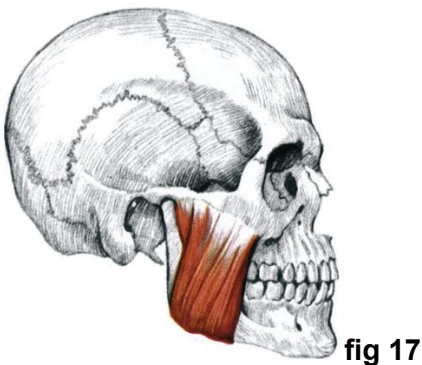


fig 16

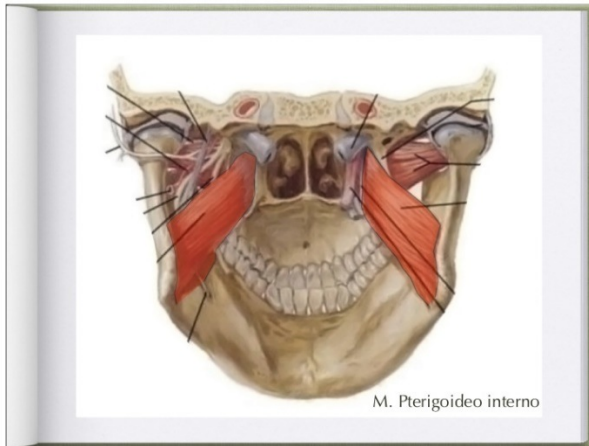
Gli elevatori sono il massetere, lo pterigoideo interno (mediale) ed esterno ed il temporale. I primi due hanno un decorso grossolanamente parallelo in basso ed indietro:

- il Massetere decorre con due strati, superficiale e profondo, dall'arcata zigomatica alla faccia laterale dell'angolo e del corpo della mandibola; è il più forte dei muscoli, attivo nella protusione ed è generalmente accertato che eleva e stringe la mascella (Ahlgren 1966; Woelfel et al. 1960).





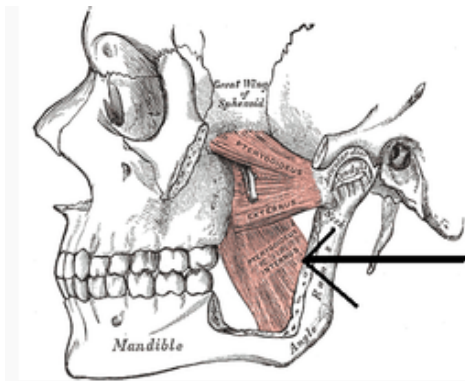
- lo Pterigoideo (Mediale) Interno va dalla fossa pterigoidea dello sfenoide alla faccia mediale dell'angolo della mandibola. Ha una forma rettangolare e la sua azione bilancia, internamente alla mandibola, l'azione del Massetere;



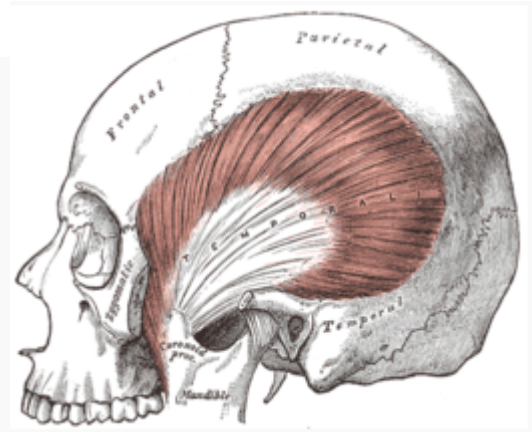
**fig 18**

- Pterigoideo (Laterale) Esterno è composto da due fasci, superiore ed anteriore, con due origini separate e un'unica inserzione; mentre il fascio superiore ha origine dalla fascia esterna della lamina laterale del processo pterigoideo, il fascio superiore ha origine dalla grande ala dello sfenoide. Tale muscolo sembra agire durante la protusione della mandibola.

Attraverso lo studio elettromiografico di questo muscolo alcuni ricercatori quali Moller (1966) and Woelfer et al. (1960) hanno registrato un'attività motoria del pterigoideo laterale durante l'abbassamento, altri ancora invece, quali Carlsoo (1956) Hickey et al. (1957) Griffin & Munro (1969) hanno evidenziato un'attività durante l'elevazione; studi recenti rilevano che fascio superiore e inferiore funzionano indipendentemente. (Grant 1973; McNamara 1973);



**fig 19**



**fig 20**

- Il Temporale è un largo muscolo a forma di ventaglio che decorre dalla linea temporale inferiore e dalla fossa temporale al processo coronoideo della mandibola: vi si distinguono fasci anteriori, medi e posteriori.

I primi hanno un andamento verticale, gli altri obliquo o in basso ed in avanti.

Mentre i muscoli Massetere e Pterigoideo interno sono essenzialmente muscoli di elevazione pura, il muscolo Temporale, con i suoi fasci medi e posteriori, è responsabile della componente retrusiva dei movimenti mandibolari (ritorno del condilo all'indietro nella cavità glenoidea durante i movimenti di chiusura della bocca). La sola contrazione dei fasci posteriori fa compiere alla mandibola movimenti di retrusione pura. Nei movimenti di chiusura della bocca si contrae anche il capo superiore del muscolo pterigoideo esterno, che decorre dal menisco articolare al piano infratemporale dello sfenoide: in tal modo viene controbilanciata la tensione delle fibre elastiche dell'inserzione meniscale posteriore.

I muscoli abbassatori della mandibola sono essenzialmente: il miloioideo, il genioioideo ed il digastrico.

- I fasci del muscolo miloioideo partono dalla linea miloioidea della mandibola in basso, costituendo il pavimento della bocca insieme al controlaterale, cui è unito il tessuto connettivo. Inserendosi nella faccia anteriore dell'osso ioide, esso porta tanto ad un innalzamento in avanti dell'osso ioide quanto ad un abbassamento della mandibola;

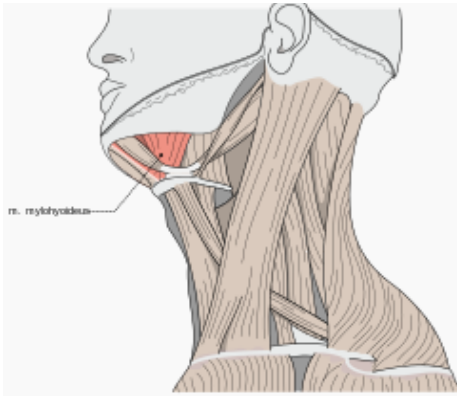


fig 21

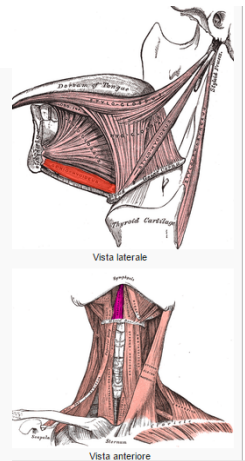


fig 22

- Il muscolo Genioioideo dalla caratteristica forma cilindrica, si poggia sulla faccia superiore del muscolo miloioideo e va dalla spina mentale alla faccia anteriore del corpo dell'osso ioide;

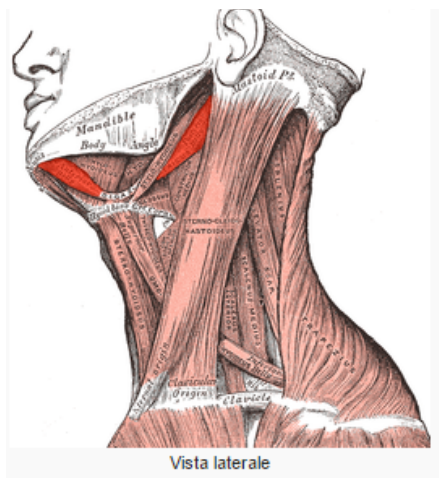


fig 23

- Il muscolo digastrico presenta due ventri, anteriore e posteriore, con un tendine intermedio. Il ventre posteriore inizia dall'incisura mastoidea del temporale e si continua, in basso ed in avanti, nel tendine intermedio che è collegato all'osso ioide per mezzo di un'ansa fibrosa. Il ventre anteriore si porta dal tendine intermedio alla fossetta digastrica della mandibola. Questi tre muscoli abbassano la mandibola se l'osso ioide è fisso (masticazione), mentre innalzano lo ioide se è fissa la mandibola (deglutizione).

### **1.6.2 Studio dei movimenti articolatori della mandibola**

Lo studio del movimento della mandibola nell'uomo è una fonte primaria di informazioni sulla relazione tra i movimenti volontari, quali parlare o afferrare, e funzioni motorie più primitive come la locomozione o la masticazione.

Un aspetto importante è determinare se gli elementi di movimento di base o primitivi sono una base per comportamento volontario e, in caso affermativo, l'identificare il neurale e i componenti morfologici comuni a queste diverse classi di comportamento.

Le prove finora sulla relazione tra movimento volontario e funzione motoria primitiva hanno assunto la forma di parallelismi tra i modelli cinematici e elettromiografici di attività come la parola e quelli di varietà di compiti motori più semplici.

Tali analogie suggeriscono un disegno comune. La tempistica relativa dei movimenti articolatori orofacciali nel discorso e degli arti in locomozione è conservata su cambi di tasso sia nel discorso che quando non vi è articolazione linguistica (Grillner 1981; Tuller e Kelso, 1984).

Allo stesso modo, nel linguaggio e nella locomotività, ci sono rapidi compensazioni fase-dipendente alle perturbazioni durante il movimento (Abbs e Gracco, 1984; Forssberg, 1979; Kelso et al. 1984).

I movimenti della mandibola sono coinvolti in comportamenti totalmente riflessivi ma presenti in natura, (come il succhiare, la deglutizione, i conati e il vomito), in funzioni volontarie anche se primitivi, (come mordere e masticare) e nei comportamenti molto complessi del discorso (la vocalizzazione e la manipolazione orale). Questi comportamenti condividono, in misura diversa, un'architettura muscolare comune e istochimica, così come componenti sensoriali, motori e riflessivi ( Abbs e Cole 1982; Dubner, Sessle e Storey 1978; Lund, Appenteng e Seguin 1982).

In un articolo scientifico intitolato "*Human Jaw Movement in mastication and speech*", Ostry D.J et Flanagan (1989) hanno cercato di esaminare la forma del movimento della mandibola attraverso la manipolazione della frequenza, l'ampiezza del movimento in parola e la conformità del bolo nella masticazione.

I comportamenti sono stati valutati attraverso la forma geometrica della funzione della velocità della mandibola.

La questione era se le funzioni di velocità analoghe sarebbero state osservate in masticazione e discorso, e in tal caso, l'identificazione dei loro corrispondenti neurali e biomeccanici ( Atkeson e Hollerbach 1985; Flash e Hogan 1985; Hollerbach e Flash 1982; Munhall ,

Ostry e Parush 1985; Ostry e Munhall 1985; Ostry, Cooke e Munhall 1987; Ruitenbeek 1984).

Le misurazioni di ampiezza, durata e velocità massima in movimento della mandibola sono stati ottenuti durante la masticazione e la parola; i movimenti di chiusura e di apertura sono stati entrambi segnati, e sono stati misurati con un lineare di spostamento di tensione trasduttore (Trans-Tek 0243). Questo trasduttore è costituito da un trasformatore circolare leggero e un nucleo metallico.

Il trasformatore è tenuto fisso al cranio superiore mediante un casco da hockey modificato. Un'estremità del nucleo è stata inserita nel trasformatore mentre l'estremità libera è stata dotata di una punta di plastica 1,5 centimetri e poi fissata con due lati del nastro adesivo al mento del soggetto, appena posteriormente alla tacca mentale.

I movimenti masticatori sono stati misurati unilateralmente sui vari tubi di gomma del diametro di 1 cm ma con spessori diversi tra i 2mm e i 4 mm. Il modello osservato è dunque simile a quello ottenuto dopo i cicli di rottura iniziale durante la masticazione costante (Luschei e Goldberg 1981).

I movimenti della mandibola durante il discorso sono state misurate durante ripetizioni della sillaba *ta* o *te* a due tassi di parola (veloce e privilegiate). Nella produzione di tali sillabe la mandibola si muove da una posizione elevata per il rilascio della consonante alveolare ad una posizione aperta o abbassata per la produzione della vocale.

Tre soggetti senza alcun noto disturbo neurologico o patologia del discorso, sono stati testati in studio in quattro blocchi di prove: discorso, masticazione, discorso, masticazione.

Nei blocchi di discorso, l'ordine della ripetizione delle sillabe alle due aliquote discorso era randomizzato.

Allo stesso modo, nei blocchi di masticazione, l'ordine delle prove con dei tubi e spessori sottili presso i due tassi è stato randomizzato. In totale, 48 prove sono state registrate per ogni soggetto.

I movimenti della mandibola registrati sono stati filtrati con una frequenza di 30 Hz, poi digitalmente campionata ad una velocità 1 kHz a risoluzione 12 bit.

I risultati hanno rilevato che la durata media dei movimenti della mandibola è stata maggiore nella masticazione rispetto al discorso.

Jaw movement in mastication and speech

Table 1. Kinematics of the mandible in mastication and speech.  $V_{max}$  indicates maximum instantaneous velocity; acceleration = acceleration duration; deceleration = deceleration duration, SE are given in parentheses

	Opening		Closing	
	Fast	Normal	Fast	Normal
<i>MASTICATION</i>				
<i>Subject KG</i>				
Amplitude (cm)	0.52 (0.01)	0.63 (0.01)	0.51 (0.01)	0.63 (0.01)
$V_{max}$ (cm/s)	9.46 (0.14)	7.05 (0.25)	8.00 (0.13)	3.51 (0.14)
Duration (ms)	120 (3.16)	275 (9.31)	149 (2.53)	428 (10.7)
Acceleration (ms)	72 (1.60)	110 (4.93)	46 (0.74)	126 (9.37)
Deceleration (ms)	48 (2.09)	165 (7.22)	103 (2.03)	302 (13.8)
<i>Subject KM</i>				
Amplitude (cm)	0.71 (0.02)	0.73 (0.02)	0.67 (0.02)	0.75 (0.02)
$V_{max}$ (cm/s)	8.59 (0.24)	6.48 (0.20)	9.55 (0.25)	8.40 (0.49)
Duration (ms)	199 (4.34)	419 (21.0)	176 (2.71)	285 (14.1)
Acceleration (ms)	105 (1.80)	136 (9.40)	59 (1.15)	93 (5.60)
Deceleration (ms)	94 (4.73)	283 (16.4)	118 (2.51)	192 (13.4)
<i>Subject CL</i>				
Amplitude (cm)	0.12 (0.01)	0.53 (0.01)	0.14 (0.01)	0.54 (0.01)
$V_{max}$ (cm/s)	3.59 (0.15)	6.92 (0.16)	2.74 (0.08)	4.23 (0.10)
Duration (ms)	76 (1.43)	260 (8.65)	104 (1.56)	355 (10.1)
Acceleration (ms)	44 (1.13)	83 (1.78)	40 (0.52)	79 (2.75)
Deceleration (ms)	33 (0.53)	176 (8.14)	65 (1.39)	276 (8.66)
<i>SPEECH</i>				
<i>Subject KG</i>				
Amplitude (cm)	0.20 (0.01)	0.26 (0.01)	0.20 (0.01)	0.26 (0.01)
$V_{max}$ (cm/s)	3.96 (0.11)	3.15 (0.10)	3.53 (0.12)	2.28 (0.12)
Duration (ms)	104 (1.43)	202 (4.89)	114 (1.16)	246 (5.91)
Acceleration (ms)	46 (0.45)	79 (2.99)	54 (0.81)	120 (5.91)
Deceleration (ms)	58 (1.27)	124 (3.73)	60 (0.85)	126 (4.24)
<i>Subject KM</i>				
Amplitude (cm)	0.39 (0.01)	0.30 (0.02)	0.39 (0.01)	0.29 (0.01)
$V_{max}$ (cm/s)	5.14 (0.13)	2.87 (0.15)	5.68 (0.14)	2.86 (0.17)
Duration (ms)	148 (1.34)	303 (14.5)	138 (1.73)	216 (7.73)
Acceleration (ms)	58 (0.75)	73 (1.99)	58 (1.08)	84 (5.77)
Deceleration (ms)	90 (1.35)	230 (14.9)	80 (1.09)	132 (5.11)
<i>Subject CL</i>				
Amplitude (cm)	0.13 (0.01)	0.22 (0.01)	0.13 (0.01)	0.22 (0.01)
$V_{max}$ (cm/s)	3.09 (0.08)	2.78 (0.15)	2.80 (0.07)	3.32 (0.19)
Duration (ms)	79 (1.24)	197 (5.33)	90 (1.41)	218 (12.8)
Acceleration (ms)	44 (0.67)	61 (1.50)	36 (0.60)	78 (2.36)
Deceleration (ms)	35 (0.77)	136 (5.30)	52 (1.21)	140 (11.7)

fig 24

La velocità media massima di apertura e chiusura della mandibola durante la masticazione e nel parlato varia in modo non sistematico in base all'ampiezza media del movimento.

Questo risultato è ben noto negli studi di controllo vocale (Ostry e Munhall 1985). Tuttavia, anche se non c'era alcuna relazione tra la velocità media e le misure di ampiezza, sono stati ottenuti tra prova e prova correlazioni tra movimento e la velocità massima affidabile per l'apertura e la chiusura in entrambi i comportamenti.

Per entrambi i movimenti di apertura e di chiusura della mandibola, le funzioni di velocità di masticazione e del discorso erano simili per forma e varia in modo simile con variazioni della frequenza.

La somiglianza è presente nonostante le differenze grandi e sistematiche nelle ampiezze, velocità e durata del movimento.

La compliance del bolo nella masticazione e l'identità della vocale nel discorso non ha certo influenzato la forma della funzione di velocità in modo sistematico.

Le funzioni di velocità normalizzati sono generalmente distorte.

Nei movimenti di apertura, l'entità del disallineamento varia in funzione della velocità. L'accelerazione è più breve della decelerazione nei movimenti lenti, laddove nei movimenti veloci la durata era per lo più quasi uguale.

L'analisi dei documenti pubblicati sulla masticazione e sul discorso ha dato risultati comparabili.

Diversamente dai movimenti del braccio, in cui la forza sviluppata nei muscoli antagonisti agisce per decelerare l'arto, nell'apertura della mandibola durante la masticazione sembra esserci poca attività muscolare antagonista attiva per la decelerazione.

Così, nell'apertura, sembra probabile che la decelerazione avvenga attraverso i carichi elastici e viscosi che si oppongono al movimento, cioè, carichi dovuti a tratto e tasso di allungamento dei congegni di chiusura della mandibola.

Alcune prove in linea con questa possibilità sono determinate dal movimento del braccio umano: funzioni di velocità positivamente distorte sono state ottenute durante la flessione del polso contro entrambi i carichi viscosi ed elastici (Stein, Cody e Capaday 1988).

Ci sono sei gradi di libertà per il movimento della mandibola nei primati, tre associati all'apertura / chiusura, protrusione / retrusione e movimento laterale della mandibola e tre con il movimento dell'osso ioide (Otten 1987). Di conseguenza, il movimento dell'osso ioide può contribuire alla asimmetria della funzione velocità della mascella.

Lo ioide si muove in maniera sistematica durante i movimenti della mandibola sia nella masticazione che nel discorso.

Un ampio resoconto di tale movimento in discorso è fornito da Perkell (1969).

Durante la masticazione negli esseri umani, l'osso ioide si sposta verso l'alto e in avanti durante l'apertura della mandibola e nella direzione opposta durante la chiusura (Pancherz, Winnberg e Westesson 1986). Il movimento durante l'apertura è presumibilmente una causa dell'attacco dei muscoli sovra-ioide.

Patterns più complessi di movimento dello ioide negli esseri umani sono stati riportati da Thexton, Wallace e Ebbs (1976).

Nel discorso il pattern del movimento ioideo dipende ampiamente dal tipo di vocale. Per vocali quali *e* ed *a*, ad esempio, lo ioide si muove su e giù durante l'apertura della mandibola, come succede nella masticazione (Perkell 1969), per vocali come *i* ed *u* esso si muove nella stessa direzione della mascella, cadendo durante il movimento di apertura mandibolare per la vocale.

Una serie di fattori fisiologici e biomeccanici sembrano influenzare la forma delle funzioni di velocità di masticazione e discorso. L'asimmetria della funzione di apertura, nonché le curve più simmetriche per aprire velocemente la mascella possono derivare da elastiche, viscosi e inerziali caratteristiche del sistema mascellare.

I cambiamenti nella forma della funzione di velocità, gli aumenti di accompagnamento in velocità di movimento, possono invece derivare da l'aumento della rigidità dell'apertura della mandibola.

Per la chiusura della mandibola, l'asimmetria nella masticazione è dovuta in parte alla decelerazione imposta dal contatto con il bolo. Nel discorso vi è qualche indicazione che l'asimmetria è codificata direttamente nel modello di attività elettromiografica nei muscoli della chiusura della mascella.

Un confronto diretto dei movimenti di chiusura nella masticazione e nel discorso non è stato tentato perché nella masticazione questi componenti laterali sostanziali non sono stati misurati.



## CAPITOLO II

### L'evoluzione della dentatura dalle scimmie antropomorfe al genere Homo

#### 2.1 Dentatura e articolazione linguistica

I denti sono veri e propri organi, posizionati negli alveoli della mascella (quelli superiori) e della mandibola (quelli inferiori), entro i quali si inseriscono, grazie ad un tipo di articolazione definito “gonfòsi”, che permette loro solo piccoli movimenti (Avery 2002).

Essi svolgono, insieme ai muscoli della masticazione ed alle secrezioni ghiandolari salivari che sboccano nella cavità orale, la complessa funzione masticatoria ed in parte quella fonatoria, partecipando all'articolazione delle parole; inoltre costituiscono una componente non secondaria dell'estetica del volto, definita funzione fisiognomica.

La dentatura del resto ha da sempre rappresentato nel genere umano, almeno sino dallo sviluppo delle capacità prensili della mano e alla costruzione di strumenti, la parte più importante del corpo. Essa può essere considerata “(...) una specie di codice a barre naturale, è la carta d'identità che non si scorda di portare con sé(...) (Lahy 2002 cit. in Guglielmi 2002:14).

I denti sono serviti soprattutto nella produzione armonica e articolata del linguaggio; la loro assenza infatti, congenita o ambientale, può essere determinante ed influente sullo sviluppo della mandibola e dell'osso mascellare.

Del resto anche lo sviluppo dell'osso alveolare dipende strettamente dalla presenza dei denti e dalla loro progressiva eruzione.

Per esempio Ferembach (1977-79) e Ubelaker (1978, 1989) basano i loro studi sull'osservazione del grado di mineralizzazione ed eruzione dentaria allo scopo di individuare le classi di età all'interno di una determinata popolazione.

Grazie alla particolare costituzione, che permette una perfetta e maggiore conservazione duratura nel tempo, i denti sono gli elementi del corpo umano che si conservano meglio come record archeologico.

Ecco perché nello studio degli ominidi, possono essere considerati come uno strumento comparativo di grande importanza aventi come capacità quella di rappresentare e caratterizzare una specie rispetto ad un'altra e di stabilire, anche se non in maniera del tutto esauriente, le varie tappe dei processi evolutivi.

L'uomo dimostra di essere tra i mammiferi il più evoluto dei viventi grazie non solo al rapporto intercorso tra capacità cranica e il peso corporeo, risultante peraltro superiore all'unità, ma anche a modificazioni fisiche-motorie che ne hanno caratterizzato la particolarità quali la diminuzione del bacino (rispetto alle scimmie antropomorfe), la torsione dell'osso femorale e dell'omero, (in quest'ultime non presenti) e alla diversificazione della dentatura. Nell'uomo infatti i denti sono nettamente differenti da quelli dello scimpanzè o dell'orango. La mandibola nell'uomo, ad esempio, presenta la protuberanza del mento, il ramo ascendente ha un'altezza di circa il doppio della sua larghezza, l'incisura mandibolare è ampia e il condilo mandibolare e il processo coronoideo sono ben sviluppati. Nelle scimmie antropomorfe invece non vi è il mento e la simfisi mandibolare invece di essere verticale è obliqua verso l'interno e presenta un toro mandibolare la cosiddetta placca scimmiesca.

Il rapporto altezza/larghezza del ramo ascendente è inferiore a 1,5 (uomo 2,06; gorilla 1,44), mentre la forma dell'arcata dentaria è parabolica nell'uomo e a U nei pongidi, per cui nell'uomo i molari sono allineati con i premolari, ma non con il canino, mentre nei Pongidi molari, premolari e canini sono allineati e paralleli.

Nell'uomo gli incisivi formano con i canini una curva continua, senza alcuna interruzione; nei Pongidi gli incisivi sono posti più in avanti rispetto ai canini e separati da uno spazio vuoto chiamato diastema. La formula relativa alla dentatura è la stessa tra uomo e pongidi, 2.1.2.3, considerando una semi-arcata abbiamo due incisivi, un canino, due premolari e tre molari, complessivamente 32 denti ( De Marinisi 2007:55).

Nell'uomo gli incisivi sono piccoli mentre nelle scimmie antropomorfe sono decisamente più larghi e più grandi.

Inoltre, mentre il canino delle antropomorfe è nettamente più grande, con forma conica, e punta aguzza, nell'uomo il canino ha una forma più a spatola e tende a diventare più simile a un incisivo.

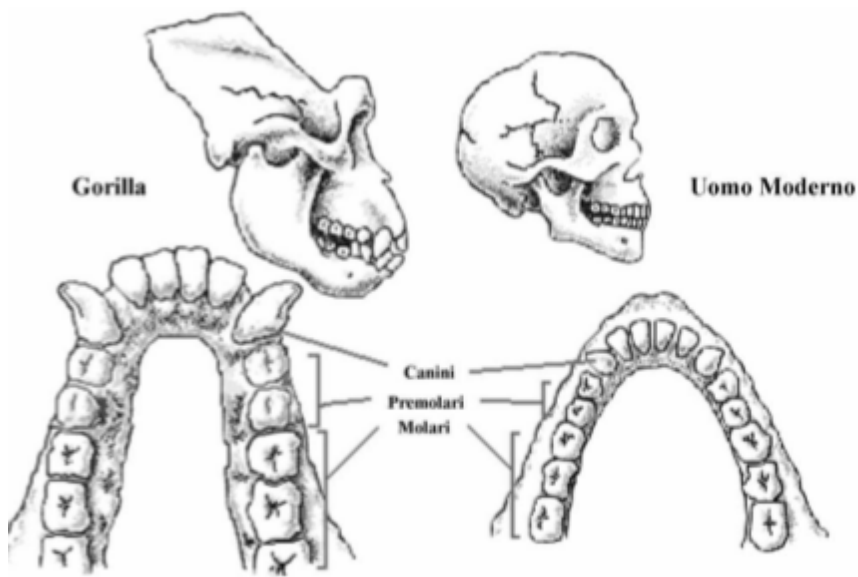
Sempre nelle scimmie il suddetto dente è un'arma di difesa e presenta un accentuato dimorfismo essendo notevolmente maggiore nei maschi che nelle femmine (dimorfismo sessuale), mentre negli esseri umani non vi è differenza tra i sessi.

Nelle scimmie antropomorfe i canini mantengono sempre la punta aguzza, mentre presentano delle faccette di usura laterale a causa dello sfregamento tra loro; nell'uomo, invece, la punta del canino è soggetta all'usura piatta al pari della superficie masticatoria di tutti gli altri denti.

Nell'uomo i premolari sono bicuspidi ed hanno una sola radice; nelle antropomorfe il primo premolare inferiore (P3), correlato funzionalmente con il canino superiore, è unicuspidato e P3 e P4 inferiori hanno due radici.

Nelle antropomorfe i molari inferiori hanno cinque cuspidi separate da solchi a forma di Y, mentre i molari superiori hanno quattro cuspidi. Nell'uomo i molari inferiori e superiori hanno quattro cuspidi, tranne M1 inferiore, che ha cinque cuspidi.

Un'altra differenza importante è determinata dallo spessore dello smalto, maggiore nell'uomo rispetto alle scimmie (ibid.:56).

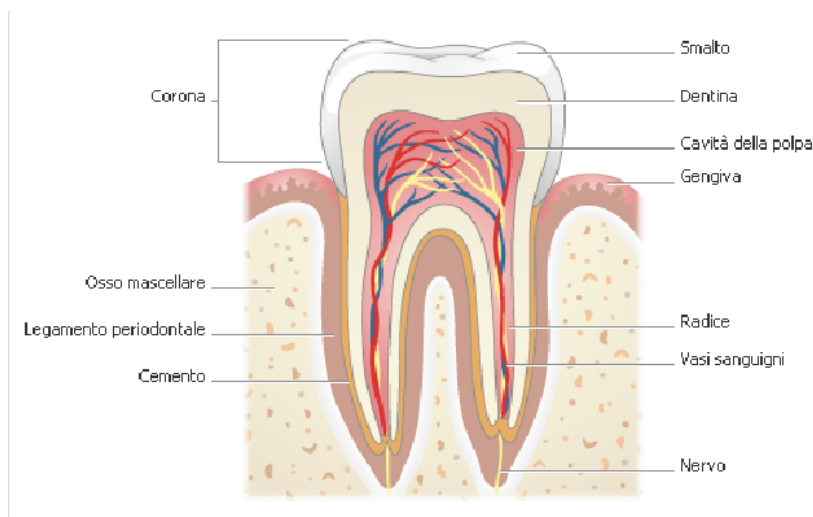


**Fig. 1 differenza dentatura gorilla e dentatura Uomo odierno**

## 2.2 Classificazione e caratteristiche anatomiche dei denti

L'apparato dentario è costituito da una corona dentaria, che affonda nella gengiva, e dalla radice, ossia la parte sepolta nell'osso alveolare; il punto di passaggio tra la radice e la corona. Sia la corona che le radici sono costituite da tessuti diversi. Classicamente la corona è composta:

- dallo smalto, ossia il tessuto più duro del corpo, costituito da piccoli cristalli di calcio e fosfati che oltre alla durezza lo rendono resistente alle sostanze acide e corrosive che si trovano in bocca.
- dalla dentina (avorio), ossia un tessuto giallastro situato sotto lo smalto e rappresentante il corpo del dente in quanto la sua quantità determina la grandezza e la forma del dente stesso. Essa ha la funzione di proteggere la polpa dalle variazioni di temperatura e dalle sollecitazioni meccaniche.
- dalla parte più sensibile denominata polpa; questa rappresenta il tessuto molle che riempie la camera del dente e che contiene nervi e vasi sanguigni, essendo pertanto il mezzo di nutrizione della dentina e di comunicazione tra il dente e il resto dell'organismo.
- dal cemento uno strato sottile e resistente che protegge la radice del dente (rappresentante quasi i due terzi della lunghezza del dente) sotto le gengive.



**Fig. 2 struttura del dente**

## **a)LO SMALTO**

La sua natura è di origine ectodermica, ed è un tessuto avascolare, acellulare, privo di terminazioni nervose, durissimo ed altamente mineralizzato. L'1% del peso dello smalto maturo è composto da matrice organica e il 3-4% da acqua mentre il 96% circa da materiale inorganico costituito da idrossiapatite, la cui composizione mineraria è costituita da Ca(36,4%), P(17,1%), Mg(0,43%), Co<sub>3</sub>(3,4%), Na(0,64%), F(0,01%), Ca/P(2%circa) (Mallegni 2001).

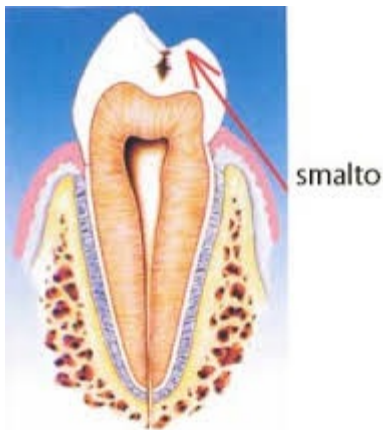
La matrice dello smalto generalmente secerne una sostanza di tipo gelatinosa (gel) durante la fase eruttiva dei denti ed è strettamente collegata alla reazione di alcune cellule denominate ameboplasti il cui compito è quello di formare e atrofizzare la matrice, creando strutturalmente una serie di cristalli raccolti in formazione prismatica in posizione ellittica lungo la struttura del dente.

Tale processo di formazione e cristallizzazione dello smalto viene denominato "amelogenesi" (Somma 2006).

Lo smalto, essendo uno strato esterno, è soggetto ad alterazioni chimiche e organiche quali ad esempio una colorazione diversa a seconda di una corretta o incorretta mineralizzazione o l'usura stessa che avviene mediante occlusione della mandibola, solitamente per sfregamento dei denti dell'arcata superiore con quelli dell'arcata inferiore (Sanchez – Villagra 2004).

Oltre alla demineralizzazione dello smalto e all'usura, un'altra interessante modifica che si può cogliere una volta avvenuta la cristallizzazione dello smalto è la formazione delle "Strie di Retzius". Si tratta di strisce più o meno regolari, di colore più scuro rispetto allo smalto che descrivono l'accrescimento dello stesso.

Esse assumono un andamento concentrico verso la cuspidale e una struttura a squame sui lati del dente. Queste striature danno origine ad un fenomeno sulla superficie dentale detto perikymata, che si riferisce alla presenza di evidenti scanalature, frutto di sovrapposizioni di strati successivi di smalto.



**Fig. 3 : lo smalto**

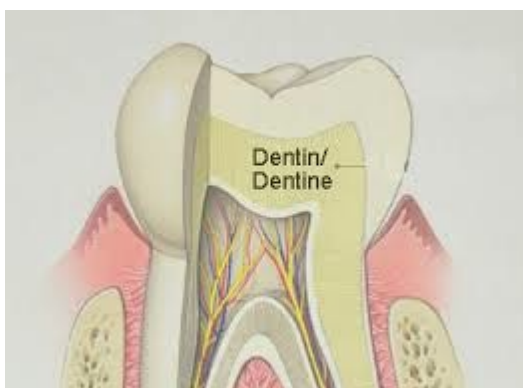
### **b)LA DENTINA**

Al di sotto dello smalto troviamo la dentina, che viene normalmente intaccata dalla masticazione più tardi dello smalto e che quindi spesso si trova in un migliore stato di conservazione.

Pur essendo un organo anch'esso duro è decisamente più elastico rispetto allo smalto, permettendo a quest'ultimo di non subire fratture durante la masticazione.

Così come lo smalto anche la dentina presenta uno strato caratterizzato da elementi di origine inorganica ( idrossiapatite al 72%) e di origine organica suddivisi in lipidi, glicoproteine e collagene per il 20% e il restante 8% è acqua.

La matrice della dentina si forma grazie a cellule specializzate dette odontoblasti, la cui forma e dimensione varia a seconda della loro posizione. Allorquando gli odontoblasti si scindono formando uno strato denominato predentina, poco mineralizzato e uno strato più mineralizzato, inizia la fase dell'odontogenesi.



**Fig. 4 : Dentina**

## 2.2.1 Odontogenesi nell'uomo

Nell'uomo esistono due ordini di denti: i denti decidui e i denti permanenti. Rispetto ai denti permanenti, i denti di latte o decidui sono generalmente più piccoli, hanno un colore più chiaro e le cuspidi sono meno accentuate.

Iniziano la propria calcificazione già in fase fetale, verso il quarto mese di gravidanza, e iniziano a svilupparsi intorno al sesto mese prenatale.

Alla nascita, i denti decidui non sono ancora visibili, sebbene possano manifestarsi alcuni casi di neonati che già presentano gli incisivi inferiori in fase di avanzata eruzione. Purtroppo, in questi rari casi, i denti già erotti vengono spesso persi in tempi brevi, a causa della scarsa stabilità dovuta all'attacco radicolare incompleto. (Fava, Galli 2011).

Tra gli aspetti caratteristici della dentizione decidua, va segnalata l'importanza della *sequenza* di eruzione dei denti, che rispecchia le importanti caratteristiche di mutua protezione tra i denti anteriori e posteriori: per garantire una soddisfacente protezione dei denti posteriori in fase di movimento, l'eruzione dei denti anteriori precede quella dei posteriori, in modo da garantire prima la capacità disclusiva del gruppo anteriore, e solo in seguito l'articolazione in occlusione dei denti antagonisti posteriori. L'eruzione dei denti decidui si completa all'incirca intorno a due anni – due anni e mezzo, e intorno ai cinque anni di età si nota la comparsa di alcuni spazi (diastemi) tra i denti decidui, in conseguenza dello sviluppo delle due arcate (che prelude all'eruzione dei denti permanenti) (ibid.).

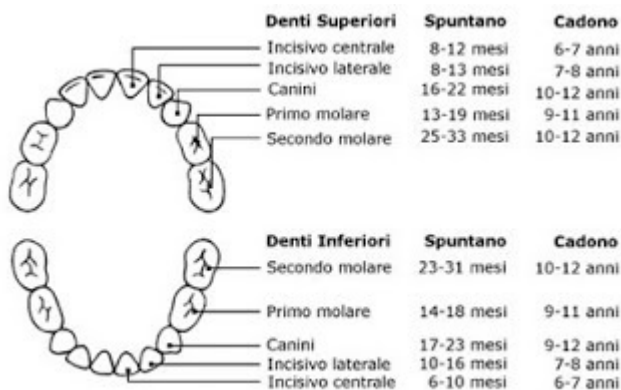
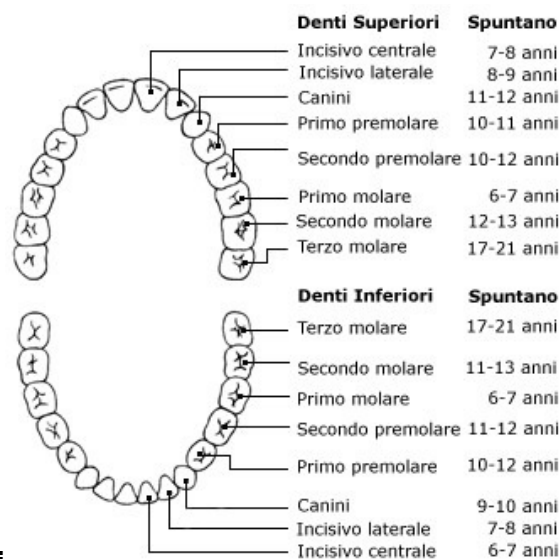


Fig. 5 : Denti Decidui

I primi denti permanenti ad erompere sono i primi molari, che appaiono distalmente ai molaretti da latte intorno ai sei-sette anni, quando le due arcate sono già sufficientemente sviluppate da permetterne la comparsa. In seguito, in un arco di tempo di circa cinque-sette anni, erompono anche gli altri denti, ad eccezione dei terzi molari. Per permettere l'eruzione del dente permanente, è però necessario che il corrispondente dente deciduo sia caduto, e questo avviene con un processo di erosione della radice del dente deciduo ad opera

del dente permanente, che “si apre letteralmente la strada” sotto al dente deciduo, preme la radice e causandone il riassorbimento, finché il dente deciduo, privato del proprio ancoraggio, si stacca e cade.

Nel caso dei premolari, questo fenomeno si verifica con il dente permanente che preme la biforcazione delle radici dei denti decidui e ne causa prima l’allargamento, e poi il riassorbimento. Se il processo di erosione non si svolge correttamente, a causa di una prolungata permanenza del dente deciduo nella propria sede (o dell’erosione anomala delle radici decidue), il dente permanente può faticare ad erompere o, come più spesso accade, erompe in una posizione anomala, generando delle malocclusioni. Gli ultimi denti ad erompere sono i terzi molari o “denti del giudizio” la cui comparsa avviene tra i 18 e i 31 anni. Di forme molto diverse da individuo ad individuo, questi denti in molti individui non erompono affatto, mentre in altri casi la mancanza di spazio sufficiente a garantirne l’eruzione costringe alla loro prematura avulsione da parte del clinico.



**Fig.6: denti permanenti**



### **2.2.2 Intervento ortodontico sulla produzione linguistica**

Quando si pensa alla struttura dell'arcata dentaria si associa il suo utilizzo alla funzione masticatoria o all'estetica.

Tuttavia, una mal occlusione della mandibola o un utilizzo di protesi non perfette determinano veri e propri difetti di pronuncia.

Per quanto lievi possano essere tali difetti, possono essere causa di disagi non solo psichici ma alquanto fisici.

Interessante l'esperimento riportato da Al-Magaleh et al. (2011) in cui si viene effettuata una "messa appunto" dei denti in una zona neutra allo scopo di migliorare e di valutare il suo effetto soggettivamente e oggettivamente nell'articolazione linguistica.

Occorre ricordare che lo speech è un'attività umana fondamentale ed essenziale che riguarda la comunicazione personale e di auto-rappresentazione. Insieme con la meccanica e l'estetica, esso è un fattore cardine che contribuiscono al successo personale ed interpersonale.

La tesi centrale dell'approccio "zona neutra" (NZ) è di posizionare i denti e sviluppare le superfici esterne tali protesi che tutte le forze esercitate dai muscoli orali e para-orale vengono neutralizzati, e la protesi viene mantenuto in uno stato di equilibrio.

Poichè tutte le funzioni orali, tra cui discorso, coinvolgono le azioni sinergiche di questi muscoli, alcune protesi costruite secondo il concetto NZ potrebbero fornire maggiore stabilità, oltre a migliorare la qualità fonetica (Al-Magaleh et al. 2011: 43).

#### **a) ESPERIMENTO**

Sono stati creati dei gruppi sperimentali: i gruppi II e III composto da 10 pazienti completamente edentuli (8 maschi, 2 femmine; età media: 52 anni) e uno, il gruppo di controllo (gruppo I) da 10 soggetti completamente dentate (4 maschi, 6 femmine; stessa fascia di età di gruppi II e III); entrambi i gruppi sono stati selezionati dalla clinica ambulatoriale del Dipartimento Prosthodontic della Facoltà di Medicina Orale e Dentale dell'Università del Cairo (Al-Magaleh et al. 2011:44).

I criteri di inclusione sia per i pazienti edentuli che per i soggetti dentati prevedevano che il soggetto, indipendentemente dal gruppo di appartenenza, era esente da malattie sistemiche che avrebbero potuto influenzare i comportamenti neuromuscolari; non avesse distur-

bi del linguaggio o disabilità uditive, fosse sotto qualsiasi farmaco che potrebbe incidere sulle attività muscolari.

Pazienti edentuli avevano una distanza adeguata dell'interarcata, ed una dimensione ed un comportamento della lingua normale.

Sono stati esclusi i pazienti con xerostomia o salivazione eccessiva e quelli con gravi sottosquadri ossee o esostosi ossea.

Sono state ricostruite due tipi di protesi per ciascun paziente edentuli: uno secondo il metodo convenzionale (gruppo II) e uno secondo la tecnica NZ (gruppo III).

Per il gruppo II, le protesi dentiere sono state costruite in modo convenzionale come segue. Mascellare e calchi preliminari mandibolari sono stati ricostruiti in apposite vaschette azionari con materiale d'impronta idrocolloide irreversibile.

I contenuti dei vassoi sono stati immediatamente versati nel gesso per ottenere uno studio su cui sono stati costruiti il mascellare e un calco è stato fatto con stucco con consistenza e materiale d'impronta in gomma-base.

Impressioni finali sono stati realizzati con materiale di media consistenza in gomma-base sotto leggera pressione delle dita.

Le impronte sono state inscatolate e versate nella pietra dentale per ottenere calchi maestri su cui sono state costruite i blocchi di occlusione. Il bordo occlusale mascellare è stato rettificato per una corretta estetica, per il piano piano occlusale, per la fonetica, e il sostegno del labbro superiore.

Per il gruppo III, processo per ricostruzione della base della protesi mandibolare è stato modificato su un piatto in acrilico con perni metallici sporgenti verso l'alto. Due dita d'appoggio occlusale (stops) sono state costruite sul piatto in acrilico sulle regioni premolari di entrambe le parti con un composto tracciamento bastone verde.

Gli appoggi sono stati stampati nella bocca di ogni paziente per la corretta dimensione verticale di occlusione.

L'impressione NZ è stata fatta mediante l'applicazione di tessuto condizionata materiale (Viscogel ®, Dentsply, Germania) (ibid.) sulla piastra in acrilico, contorni a un bordo approssimativo, poi istruendo il paziente a eseguire la seguente serie di azioni per 10 minuti: ingoiare lievemente e prendere frequenti sorsi d'acqua, parlare a voce alta, pronunciare le vocali, recita dell' Al-Fateha (passaggio standard dal santo Corano), contare 60-70, sorridere, leccare, e protrarre le labbra.

La valutazione soggettiva per i gruppi II e III è stata fatta valutando la soddisfazione del paziente con un questionario (Bergman et al. 1996; Ambard et al. 2002), che è stato sviluppato in considerazione degli aspetti più importanti usati per valutare protesi: l'estetica, la funzione, la conservazione, stabilità, comfort, e il discorso.

I pazienti sono stati invitati a classificare ogni tipo di protesi da 1 (non soddisfatti), 2 (soddisfatto) o 3 (molto soddisfatto).

Valutazione oggettiva comprendeva la registrazione della durata presa per la recitazione di Al-Fateha (che rappresentava automatico, continuo, comunicazione interrotta) con un cronometro e l'analisi acustica utilizzando laboratorio informatico del discorso (CSL) (Kaymodel 4300, Stati Uniti d'America). Per ogni paziente, sono state prese 2 misure per ogni tipo di protesi (uno subito dopo l'inserimento e un altro 3 settimane più tardi).

I soggetti del gruppo di controllo sono stati sottoposti allo stesso protocollo di valutazione obiettiva solamente una volta.

La valutazione consonante includeva la durata delle fricative /s/, // e /f / suoni (dove // sta per il " sh "), così come il tempo di inizio voce, o "Voice Onset Time (VOT) del / k / e / t / suoni.

La valutazione vocale includeva la durata vocalica e la sequenze formanti (F1, F2, F3) dei seguenti vocali; /a /, / i / e /u /.

Ad ogni soggetto/paziente è stato chiesto di pronunciare determinate parole arabe contenenti ciascuna dei suoni menzionati. Ciascuna delle frasi è stata pronunciata in una frase vettore per garantire un modello di forza stabile. È stata calcolata la media di tre pronunce.

## **RISULTATI**

I Pazienti, nessuno escluso, hanno mostrato altri gradi di soddisfazione, dichiarando di poter masticare bene e parlare meglio.

Obiettivamente, qualsiasi riduzione nella durata dei parametri valutati hanno indicato un miglioramento nel discorso.

Per la recitazione di Al-Fateha , ci sono state differenze significative tra entrambi i gruppi di protesi e il gruppo di controllo (gruppo I). Eppure, dopo 3 settimane, c'era ancora una differenza significativa tra i gruppi I e II, mentre la differenza è stata statisticamente significativa tra i gruppi I e III, ad eccezione del suono /s/ e della vocale /a/.

Non ci sono state differenze significative tra i tre gruppi in termini di durata VOT o di frequenze formanti.

### 2.3 Studi sull'evoluzione dei denti e della mandibola

La mandibola e i denti nell' Homo Sapiens si sono evoluti rispetto all'antenato più prossimo comune, lo scimpanzé, grazie sia a diversi fattori ambientali quali la variazione alimentare, la lavorazione degli strumenti, il controllo del fuoco che a fattori anatomici quali l'aumento delle dimensioni del cervello, la postura bipede, la liberazione della mano (Emes et al. 2011).

Come analizzato nel capitolo precedente, il sistema masticatorio nel genere umano, consistente di mandibola, muscoli della mascella, denti, e articolazione temporo-mandibolare, è funzionalmente coinvolto non solo nell'alimentazione ma anche e soprattutto nella produzione dell'articolazione del linguaggio.

Proprio come tutte le caratteristiche anatomiche della nostra specie, anche il sistema masticatorio si è evoluto nel corso della storia evolutiva. Si stima infatti che il genere Homo si sia separato dal resto degli ominidi tra i 5 e gli 8 milioni di anni fa (Ruvolo 1997).

I denti e la struttura mandibolare degli esseri umani, come già accennato, oggi sono più piccoli rispetto a quelli delle grandi scimmie (Aiello, Dean 1990). Indagini su fossili hanno inoltre dimostrato l'evidenza di una riduzione delle dimensioni del sistema masticatorio negli Ominidi che, secondo alcuni ricercatori è stato per lo più causato dai cambiamenti alimentari della specie (Garn, Leonard 1989; Milton 1987).

Recentemente, Lucas et al. (2008) hanno studiato gli adattamenti alimentari di ominidi estinti e classificando quest'ultimi in 4 gruppi:

1. Primati (7 - 4 Ma): comprende il *Sahelanthropus tchadensis*, l' *Orrorin tugenensis*, l' *Ardipithecus kadabba*, e il *Ardipithecus ramidus*;
2. Australopithecini (4 - 2.5 Ma) *Australopithecus afarensis*, *Australopithecus africanus*, *Australopithecus anamensis*, *Australopithecus garhi*, *Australopithecus bahrelgazali*, *Kenyanthropus platyops*;
3. Ominidi Arcaici, megadontici hominini (2.5 - 1 Ma): *Paranthropus robustus*, *Paranthropus aethiopicus*, *Paranthropus boisei*;
4. Genere Homo (2 Ma- 18 ka) *Homo rudolfensis*, *Homo habilis*, *H. ergaster*, *H. erectus*, *H. floresiensis*, *H. antecessor*, *H. heidelbergensis*, *H. neanderthalensis*, *H. sapiens*.

Lucas et al. (1986) hanno anche convenuto che le proprietà dentali dell'ultimo antenato comune tra lo scimpanzé/bonobo e gli ominidi erano maggiormente simili agli scimpanzé di oggi. Avevano grandi incisivi, i canini erano sessualmente dimorfici, i canini dei maschi erano più pronunciati rispetto a quello delle femmine.

I premolari avevano piccole corone e il secondo molare era più grande rispetto agli altri molari, proprio come in tutte le grandi scimmie (Lucas et al. 1986).

Simile alla maggior parte delle scimmie e delle grandi scimmie, nel *Ardipithecus* il margine posteriore dei canini superiori era più affilato contro l'estensione anteriore del premolare anteriore inferiore ( Haile, Selassie 2001).

Con molta probabilità gli incisivi erano procombenti al momento dell'eruzione tanto nei primati quanto negli ominidi arcaici (Asfaw et al. 1999), per quanto fossero al contempo relativamente più piccoli e più verticali sia negli ominidi arcaici megadontici che nel genere *Homo* (McHenry 2002).

Tale riduzione della dimensione della misura degli incisivi è direttamente proporzionale all'allargamento dei premolari e dei molari (Grine, Martin 1988).

Gli ominidi arcaici megadontici, presentano una maggiore riduzione della grandezza e dimensione dei canini, con conseguente allargamento anormale dei premolari, così come riportato da Wood e Stack (Wood, Stack 1980).

I maschi del genere *Homo* avevano canini di piccole dimensioni, si afferma pertanto che più alta è la mandibola più piccoli sono i canini dei maschi (Lucas et al. 2008).

Nel genere *Homo*, i premolari sono più larghi tra tutti i denti in genere; essi presentavano inoltre una delle caratteristiche evolutive uniche nel suo genere, ossia il mento sporgente, elemento del tutto assente tanto nei primati quanto nell'uomo di Neandertal. Molteplici sono stati gli studi eseguiti sulla funzione biomeccanica e sulla formazione del mento. Mentre alcuni autori hanno affermato che questa caratteristica fisica aveva lo scopo di fornire più flessione alla mandibola (Dealing 1993), per altri (Lieberman 1995) non aveva alcuna importanza funzionale.

Alcuni autori ancora hanno affermato che il mento sia conseguenza della riduzione dell'arcata dentale. Ichim et al. (2007) hanno sostenuto che la formazione del mento potrebbe essere dovuto alle contrazioni ripetitive della lingua e la muscolatura periorale, determinanti per lo sviluppo dell'articolazione del linguaggio negli esseri umani moderni.

L'origine del mento coincide con la comparsa dell'articolazione linguistica circa 50.000 anni fa. Il piano occlusale negli esseri umani spesso non è orizzontale.

Un piano occlusale elicoidale è un'inclinazione dei denti dove i denti mascellari anteriori mostrano un piano inclinato verso l'alto palatalmente mentre i posteriori hanno un piano inclinato verso l'alto formando un piano occlusale buccale ritorto (Ackeman 1941). Anche se il modello elicoidale occlusale è stato considerato come una caratteristica tipica della

regione oro-facciale del genere Homo (Ackeman 1980) si vede anche negli ominidi del Plio-Pleistocene e nei primati non umani, in particolare nello scimpanzé (Osborn 1982).

Macho e Berner (1994) hanno concluso che il piano occlusale elicoidale potrebbe essere considerato come un adattamento funzionale in sé.

Quando venne presa in considerazione l'evoluzione del condilo mandibolare, è stato dimostrato che i primi ominidi hanno ereditato da qualche antenato ramamorphico un giunto basso e anteriormente collocato con un giunto posizionato in un punto simile.

Nella linea delle australopitecine, il giunto è rimasto in avanti, ma è stato sollevato.

Nel gruppo dell'*Homo erectus* si è sollevato di meno.

## 2.4 L'evoluzione dell'uomo attraverso i denti

Lo studio della dentatura fornisce molteplici informazioni in merito all'ambiente culturale e alle variazioni bio-meccanicistiche relative all'evoluzione del genere umano, grazie alla sua struttura mineralizzata, resistente nel tempo ed immutata; questa fornisce non solo un utile strumento di ricerca per individuare i membri di una stessa famiglia biologica o genetica, ma permette di ricostruire le abitudini sociali e nutritive dei soggetti studiati.

Utili a comprendere gli usi e i costumi dei nostri antenati sono le rilevazioni della presenza di "modificazioni extra masticatorie".

Tale denominazione si riferisce a quei segni di usura non determinati dalla masticazione e possono comprendere sia malfunzionamenti dell'occlusione mandibolare sia certe usure intenzionali, meglio note come "mutilazioni dentali", quali le incisioni sui denti degli incas, che hanno uno scopo prettamente estetico (Hillson 1996).

Tanto quanto il resto dello scheletro umano, anche la dentatura ha subito una notevole evoluzione nel corso del tempo.

Tra i primati più antichi, risalenti alla fine del Cretaceo (circa 70 milioni di anni fa) ritroviamo il *Purgatorius*, dei cui resti fossili gli scienziati Van Valen e Sloan, intorno al 1965, hanno ritrovato solo parti della mascella e numerosi denti.

Provvisto di 44 denti (3 incisivi, 1 canino, 4 premolari e 3 molari) questo antichissimo progenitore doveva di sicuro vivere sugli alberi, aveva un andamento quadrupede, si nutriva di frutta e foglie e non doveva essere più grande di un topo (Coppen 1996:22).



**Fig. 5: dimensione dei reperti fossili relativi ai denti ritrovati durante gli scavi archeologici del 1967**

Una struttura dentaria genericamente simile a quella umana è riconducibile ai resti mioceni dei del *Sivapithecus*; in questo primate la forma dell'arcata dentaria superiore si avvicina a quella dell'odierno essere umano presentando una forma di arco circolare relativamente regolare, contrariamente a quella presente invece in altri primati a lui suoi contemporanei quali il *Dryopithecus* e il *Plyopithecus*, in cui invece è riconoscibili la forma a V oppure quella a U (Ciocon, Fleagle 1987). Di questa tipologia di primati manterrà in comune la caratteristica forma pentacuspideata (denominazione 5 Y per il disegno determinato dall'incrociarsi dei solchi che separano le cuspidi) da cui sarebbe derivata quella umana per fusione della cuspidi antero-mediale (metaconide) con quella medio-laterale (ipoconide) (Swindler 2002).

Lo *Sivapithecus* presenta dei caratteri dentari che lo avvicinerebbero ad *Australopithecus* ossia molari grandi rispetto ai denti anteriori e al presunto peso corporeo, canini relativamente brevi e tozzi, aventi tendenza a logorarsi sia a partire dalla punta sia dalle superfici mesiale e distale.

Nello scheletro facciale tuttavia *Sivapithecus* possiede caratteri che lo avvicinerebbe all'orangutan con il quale condivide anche la presenza di molari a smalto spesso. È probabile che *Sivapithecus* sia alla base della separazione tra la linea evolutiva dell'orango e quella delle antropomorfe africane (Coppen, Gepner 2009).



### 2.4.1 Dentatura ed evoluzione dentaria delle Australopithecine

Per quanto invece riguarda le Australopithecine, la dentatura mostra caratteristiche tipiche del successivo genere Homo, con differenze sostanzialmente determinate dalle abitudini alimentari e dalla postura scheletrica.

All'interno di questa famiglia di primati si presentano forme di dentature più arcaiche, come nell'*Ardipithecus Ramidus* e l'*Australopithecus Anamensis*, e le forme più tarde, come l'*Australopithecus Afarensis*, e l'*Australopithecus Africanus*.

Maggiore specializzazione sarà raggiunta nel genere *Paranthropus*, il precursore delle Australopithecine è l'*Ardipithecus Ramidus*, vissuto ben 4.4 milioni di anni fa.

La sua dentatura presenta incisivi di piccole dimensioni con canini al contrario grandi. Avente premolari molto piccoli ed eteroformi e molari molto grandi, questa specie presenta diastemi che permettono l'occlusione dei mandibolari, visto che i canini escono dal piano occlusionale. L'ambiente in cui viveva era la savana e la sua dieta era principalmente a base vegetariana (Suwa et al. 2009; White et al. 2009; White et al. 2006).



**Fig. 6: Fossili della mascella dell'*Ardipithecus Ramidus***

Successivo all'*Ardipithecus Ramidus*, l'*Australopithecus Anamensis* visse sulla terra tra i 4.17 e 3.9 milioni di anni fa ( White et al. 2006; Leakey et al. 1998; Leakey et al. 1995); questi sembra rappresentare un lignaggio che si conclude con il più noto *A. Afarensis* (3,77 Ma - 3.0 Ma) ( White et al. 2006; Kimber et al. 2006, Hile-Selassie et al. 2001).

l'*A. Anamensis* sembra rappresentare la parte iniziale di un lignaggio che si conclude con il più noto *afarensis Australopithecus* ( Kimber et al. 2006; Ward et al. 2001; Ward et al. 1999). Rispetto all' *A. afarensis*, l' *A. anamensis* presentava canini di dimensione basale

grande rispetto alla formato corona, per forma molto simili alle scimmie e la topografia alterata del mascellare superiore e inferiore nelle regioni del canino juga ibid. ).

Il ritrovamento a Fejeje in Etiopia di un alveolo di un canino mandibolare e in qualche misura anche di un canino con grande radice fortemente usurata (Fleagle et al. 1991) ha suggerito la presenza di un possibile dimorfismo sessuale.

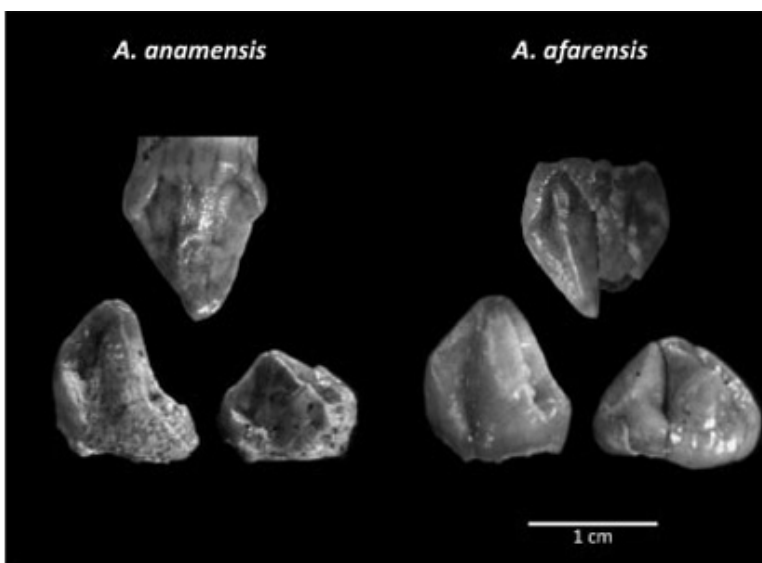
La posizione temporale intermedia dell' *A. anamensis*, tra la precedente *Ardipithecus*, *Ororin* e *Sahelanthropus*, e l' *A. afarensis*, rende questa specie di grande interesse nel documentare il tasso e la tempistica dei cambiamenti nel complesso canino-premolare.

A partire da circa 3,7 milioni di anni fa, compare un'altra forma di Australopithecina: l'*Australopithecus Afarensis*.

I reperti fossili, rinvenuti principalmente in Africa centrio-orientale, continuano a mostrare una variabilità delle dimensioni dei canini dimorfica.

Se la dentizione decidua presenta differenze in base alla localizzazione di dove sono stati ritrovati ( ad esempio i primi molari inferiori provenienti da Hadar non sono molto molarizzati e presentano delle cuspidi non ben definite mentre quelle ritrovate a Laetoli si presentano molarizzati e con cuspidi ben sviluppate) la dentizione permanente presenta incisivi centrali superiori molto grandi così come lo sono i due canini, ispessiti da lo smalto e che oltrepassano leggermente il piano occlusionale.

Inoltre l'*Australopithecus Afarensis* possiede molari di modeste dimensioni e di forma rettangolare o quadrata: la zona cuspidale è fornita di 5 cuspidi ben definite che formano la classica forma ad "Y".



**Fig. 7: differenza tra *A. Anamensis* e *A. Afarensis***

L'africanus visse tra i 3 e 2 milioni di anni fa per quanto simile costituzionalmente all'afarensis in quanto bipede ma con una costituzione cerebrale più larga, presenta denti posteriori un po' più grandi, con una fisionomia della mandibola parabolica, come quella dell'uomo odierno, e canini più piccoli rispetto a quella dei predecessori (Johanson, Edey 1981).

Contemporanei all' A. Africanus, vissuti tra i 3 e i 2.5 milioni di anni fa, si distinguono quelle che i ricercatori definiscono forme "robuste" di questa specie: l'Australopithecus Robustus, l'Australopithecus Boisei e l'Australopithecus Aethiopicus; per la loro specializzazione e le loro forme detti primati vengono riuniti sotto la denominazione Paranthropus.

Entrambe le tipologie presentano una struttura sia corporea che dentale massiccia, con canini simmetrici e piccoli, premolari e molari molto grandi e cuspidi sviluppate.

### 2.4.2 Costituzione dentaria del genere Homo

La comparsa sulla terra della del genere Homo nel Pleistocene, segna un'accelerazione dal punto di vista evuzionistico, se solo si osservano le variazioni dei caratteri scheletrici e del cavo orale.

Tali modificazioni sono una conseguenza della mutazione dell'alimentazione, dell'introduzione della caccia, della scoperta del fuoco e della costruzione di strumenti sempre più utili e affinati.

Si ipotizza che la riduzione delle ossa delle arcate sia da relazionare alla diminuzione della forza atta alla masticazione; inoltre la selezione naturale ha favorito gli individui con i denti più piccoli, non solo perché in questo modo veniva mantenuta l'armonia cranio-facciale ma anche perché le ridotte dimensioni, unitamente ad una semplificata morfologia, rendevano meno suscettibili alla carie, a causa della diminuita presenza di solchi, creste e cavità dello smalto.

La progressiva scomparsa del terzo molare, inutile dal punto di vista funzionale, si collega alla riduzione delle mascelle (in genere, quando è presente, non di rado il terzo molare ha dimensioni di molto inferiori agli altri denti, accompagnate da anomalie e variazioni morfologiche).

Il cambiamento alimentare, quindi, ha particolarmente influito anche sulle dimensioni dei denti.

La dieta onnivora dell' Homo Habilis è alla base di un equilibrio della dentizione che lo differenzia sostanzialmente per la forma a paletta della corona, con canini grandi e simmetrici, premolari anch'essi grandi e molariformi e molari bulbosi.



**Fig. 8: Arcata H. Habilis**

Discendente diretto dell' Homo Habilis è l' Homo Erectus, vissuto intorno ai 2 milioni di anni fa e i cui resti sono stati ritrovati in Asia.

L' H. Erectus si differenzia dall'Habilis non solo per le sue dimensioni fisiche e per capacità di costruzione di utensili ma soprattutto per la dentatura, in quanto presenta una netta riduzione della zona anteriore della dentizione ed una maggiore omogeneità del cavo orale. La riduzione della dentizione anteriore porta ad avere degli incisivi centrali e laterali a pala con radici notevolmente ridotte (Dean et al. 2001).



**Fig. 9 mandibola dell'H. Ergaster**

## **2.5 L'eccezione alla regola: Homo neanderthalensis**

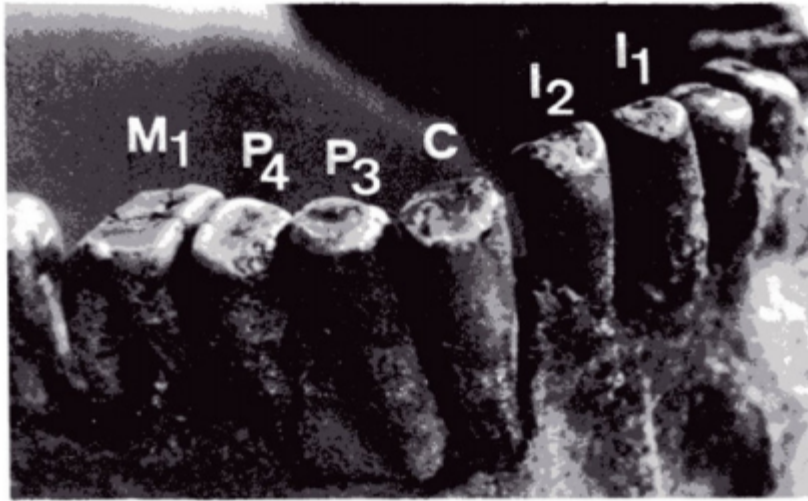
Presente in Europa e in Medio Oriente, l'Homo di Neanderthal è caratterizzato da una struttura robusta e muscolosa, per quanto risulti più abile nella lavorazione degli strumenti e nell'addomesticazione del fuoco.

In quanto alla dentatura sono presenti tanto il turbecolo sublinguale quanto un accentuato taurodontismo, causa quest'ultimo di un particolare regime alimentare.

In un certo numero di reperti di denti di Neanderthaliani ritrovati sul Monte Carmelo in Palestina, Sognnaes (1956) ha riscontrato non solo dei difetti di microstrutture nella maggior parte dei campioni, ma anche ascessi e malattie parodontali.

Inoltre, a differenza dell'uomo odierno in cui gli incisivi superiori in occlusione si dispongono davanti agli inferiori causando una più marcata usura dei molari inferiori sulle cuspidi vestibolari piuttosto che sulle linguali, in questo antenato l'usura è avvenuta a piatto su tutti i denti (Puech 1986:76).

Tale tipologia di usura permette agli incisivi di basculare verso l'interno della bocca; in più le grandi dimensioni degli incisivi fanno pensare ad un utilizzo per tritare gli alimenti.



**Fig. 9: usura macroscopica dei denti del Neanderthal**

Se si analizzano a livello microscopico, le superfici dentarie presentano delle alterazioni consistenti in distacchi di piccole schegge e in solchi prodotti durante la masticazione o dovuti a particelle trasportate dal vento e dalla pioggia o come in certi alimenti, determinate da minerali quali silicio, presenti in vegetali o trasportati durante la cottura alla brace. Queste particelle abrasive hanno causato sulla superficie occlusale dei denti strie particolari per numero ma regolari. Inoltre queste particelle hanno permesso di risalire ai movimenti articolatori effettuati durante la masticazione (ibid.:77).

L'insieme dei dati ha dimostrato che l'uomo di Neanderthal era onnivoro, era un cacciatore-raccoglitore, ma non è stato utile a fornire fattori riconducibili alla gracilizzazione.

## CAPITOLO III

### Speech Motor Control: teorie a confronto

#### 3.1 Approcci teoretici e investigativi sull'acquisizione della produzione del linguaggio

Un problema fondamentale nello studio formale del linguaggio umano è quello di comprendere il processo attraverso il quale le intenzioni linguistiche diventano discorso. Infatti la produzione di discorso implica uno straordinario coordinamento tra le diverse strutture anatomiche e neurofisiologiche da cui si dipana nel tempo un segnale acustico complesso che trasmette agli ascoltatori le intenzioni di chi parla. Il discorso è prodotto dalle azioni combinate del sistema respiratorio, la laringe e del tratto vocale sopra-laringeo. Ciascuno di questi sistemi è molto complicato ed ha un unico set di proprietà biomeccaniche e fisiologiche (Perkel 2002).

Il tratto vocale comprende mandibola, lingua, faringe, velo, cavità nasale, cavità orale, dentatura e le labbra, tutti marcatamente diversi tra loro in termini di struttura e in molti aspetti della loro funzione.

Le azioni di questi sistemi sono controllati e coordinati per produrre enunciati costituiti da sequenze di parole, che consistono in stringhe di discorso, suoni che i parlanti possono pronunciare a velocità, fino a circa 15 per secondo nel discorso. I movimenti degli articolatori vocali del tratto sono prodotti da contrazioni di oltre 50 muscoli accoppiati, molti dei quali sono disposti simmetricamente ai lati del piano medio sagittale (ibid.).

Esistono due teorie prevalenti circa il dominio delle variabili primarie sul controllo motorio del discorso. Una teoria postula che le variabili principali controllate siano gesti articolatori (Browman & Goldstein 1989), i quali si traducono in forme vocali del tratto che sono percepiti direttamente dall'ascoltatore (Fowler 1986).

Obiettivo di chi parla è quello di produrre sequenze di suoni con i modelli acustici che sono comprensibili per l'ascoltatore. Questa visione porta a ipotizzare che le variabili controllate per i movimenti vocali sono modelli di sensazione uditiva e somatosensoriale variabili nel tempo.

Se nella prima teoria, gli obiettivi sono specificati in primo luogo in termini di parametri articolatori (gesti, forme vocali), nella seconda sono specificati in primo luogo in termini di parametri sensoriali (ad esempio traiettorie uditive).

Solo la teoria sensoriale è stata applicata in forma di un modello quantitativo che è alla base della neurofisiologia, nel relazionarsi di componenti del modello direttamente a regioni del cervello e funzione neurale.

Studiosi come Vihman (1996) ritengono che l'analisi investigativa sulla produzione del linguaggio articolato sia stata principalmente caratterizzata da due approcci teorici, recepiti inizialmente nella dicotomia competenze/prestazioni formulata dallo stesso Chomsky (1984).

L'approccio correlato alla competenza può ben essere associata alla moderna fonologia generativa (Davis, MacNeilage, Matyear 2002). Esso si basa sulla conoscenza fonologica innata specifica dell'uomo.

L'approccio relativo alle prestazioni ha una base prevalentemente biologico-funzionale.

Si tratta di un tentativo di comprendere sia la produzione del discorso, in termini di funzioni motorie, percettive, cognitive, sia le proprietà derivate da studi di intervento relative ad azioni e dal patrimonio evolutivo del sistema vocale-uditivo (Ibid.).

### **3.2 Teorie Passive e Attive**

L'approccio fonetico si basa principalmente sul rapporto che intercorre tra i componenti articolatori, respiratori e fonatori del sistema di produzione vocale, nonché sull'impatto potenziale di sviluppo percettivo nella lallazione (Werker, Tees 1984) e nelle prime parole (Stager, Werker 1997).

Lo sviluppo dei modelli di produzione del linguaggio nel bambino è caratterizzato da un ritmo complessivo composto da movimenti di chiusura e apertura mandibolare con alternanze acustiche prodotte da outputs risonanti e non risonanti (Bickley et al. 1986; Koopmans-van Bienum, van de Steldt 1986).

Come Simpson (1992) fa notare, il discorso risulta essere determinato da una variante ritmica, pause, esitazioni e autocorrezioni ed è normale trovare una notevole riduzione delle forme fonetiche.

Lo studio sulla percezione linguistica dell'ultimo trentennio è fondamentalmente legato alla storia della "percezione categorica" e alla formulazione di alcune teorie classificate in due tipi principali:

**Teorie Passive:** la percezione viene considerata un processo durante il quale l'ascoltatore svolge un ruolo passivo, di semplice decodifica del segnale.



Teorie Attive: l'interpretazione attiva dell'ascoltatore è considerato di primo piano e la percezione non è un fenomeno solo fisico.

Il termine "percezione categorica" (o categoriale) si riferisce al modo in cui una sequenza di cambiamenti fisici uguali in uno stimolo acustico può essere percepito.

Il controllo degli indici acustici, interagenti tra loro, è praticamente impossibile nel parlato naturale, eppure, così come affermato da O'Shaughnessy (1987), l'utilizzo di tecniche di sintesi particolari permette non solo la creazione di stimoli in cui vi è la variazione di un solo indice acustico che varia in modo quantitativamente preordinato ma anche l'organizzazione di una serie di stimoli tali da riprodurre un continuum fonetico, come potrebbe essere un passaggio graduale da una vocale all'altra o da una consonante bilabiale ad una dentale, da una sorda ad una sonora ecc. (Cooper et al. 1952).

I fautori delle teorie passive ritengono che la sola analisi uditiva può essere in grado di estrarre dal segnale acustico quelle informazioni atte a codificare il segnale stesso. Ne consegue che l'ascoltatore gioca un ruolo decisamente passivo nel processo di ascolto, processo considerato essenzialmente sensorio.

Tra i più importanti esponenti delle teorie passive ricordiamo la teoria acustica di Fant (1960) e di Flanagan (1965) secondo la quale il segnale verbale è il risultato di una modificazione da parte di un filtro complesso a volumi variabili nel tempo, di un segnale prodotto da una sorgente.

Il meccanismo fisiologico che genera il segnale a livello di sorgente è inteso come fonazione, mentre la modificazione dello stesso da parte del filtro come è intesa articolazione-risonanza (teoria lineare della sorgente-filtro). L'ascolto diventa in tal modo un processo sensorio in cui le informazioni inserite nello stimolo acustico innescano una risposta neurale.

Inevitabile sottolineare che diversi furono i tentativi di confutare tali teorie passive atte a dimostrare che la sola informazione contenuta nel segnale acustico non permette l'identificazione dei fonemi.

Un esempio spesso riportato è l'esperimento condotto da Shokey e Reddy (1972): essi fecero ascoltare una registrazione ad alcuni fonisti composta da una lingua anonima, chiedendo loro di trascriverne a livello fonetico. La riconoscibilità non riuscì a superare il 56%, dimostrando quindi che in assenza di informazioni morfo-sintattiche è difficile se non impossibile riconoscere i fonemi.

Da lato opposto troviamo i sostenitori delle teorie attive, secondo le quali l'ascoltatore svolge un ruolo attivo, e non passivo quindi, nella percezione del parlato: dopo aver ricevuto un input, opera un confronto tra le caratteristiche acustiche del segnale e i gesti articolatori.

Tra le teorie attive più note troviamo la "Teoria dell'analisi tramite sintesi" (Analysis by Synthesis Theory) (Stevens, House 1972) ma soprattutto la già discussa "Teoria motoria della percezione del linguaggio" di Liberman (1957; 1967; 1985).

La teoria motoria della percezione del Linguaggio ebbe, intorno agli anni '60, un immenso successo diventando un punto di riferimento per l'approccio alla riabilitazione dei disturbi afasici, analizzati in virtù dell'alterazione del gesto.

Punto focale di detta teoria è la mediazione del processo inerente alla produzione codificata del linguaggio: il processo di percezione è determinato non dalla natura fisica dello stimolo ma dai processi articolatori atti a produrre il segnale. Per la decodifica del segnale acustico, l'ascoltatore ripete quelli che sono internamente i movimenti che il parlante fa per produrre quel dato messaggio orale.

La Teoria dell'analisi tramite sintesi, detta anche Analysis by synthesis, fu elaborata intorno al 1967 da Stevens, Halle e House i quali ritenevano, tanto quanto lo stesso Liberman, che esistesse un legame molto forte tra percezione del linguaggio e produzione dello stesso.

Più che a livello neuro-motorio, questi studiosi ipotizzarono l'esistenza a livello di sistema nervoso centrale di aree generative principalmente usate nella percezione.

Il processo di decodifica comporta una sintesi interna degli andamenti sonori.

In poche parole durante l'ascolto di un segnale acustico, la percezione genera una sintesi di ciò che si è udito.

Questa sintesi viene poi paragonata al segnale conservato in memoria e se sintesi e segnale memorizzato coincidono, la sintesi viene accettata come una accurata interpretazione dell'ingresso, se invece i due segnali non coincidono, si prosegue con altre sintesi fino ad ottenere quella esatta.

### 3.3 storia ed evoluzione teorie motorie

Lo studio sulle teorie motorie applicate alle scienze cognitive e psicologiche hanno una lunga storia (Scheerer 1984) risalente all'interpretazione motoria di Berkeley sulla percezione della profondità (Berkeley 1709), proposta come spiegazione per una vasta gamma di processi mentali.

Il punto di vista di Berkeley è molto interessante, soprattutto nella formulazione di ipotesi nel caso in cui un cieco dalla nascita avesse riacquisito la vista (Yolton 1996: 92).

Secondo Berkeley, è l'esperienza a far sì che le conoscenze acquisite attraverso un organo di senso siano utilizzabili anche dagli altri. L'esperienza è l'unica forma di intermodalità possibile.

In questo senso a nulla vale l'obiezione secondo la quale se un uomo si dice "diritto" quando i suoi piedi sono vicini alla terra, e "capovolto" quando è la sua testa a esserlo, ne seguirà che dato che vediamo ciò che vediamo (la testa in alto oppure in basso, né possiamo scegliere di vedere quel che vogliamo) dalla semplice percezione visiva dovrebbe discendere anche il nostro giudizio sulle cose che ci sono intorno.

In realtà per Berkeley le nostre idee sull'uomo, la sua testa e la terra su cui poggiano i piedi sono completamente diverse dalle idee visibili corrispondenti.

Egli infatti immagina inizialmente come un cieco possa percepire un uomo dritto, posto a lui frontalmente e in posizione verticale.

Ovviamente, il nostro soggetto farà uso delle mani e, percorrendo le diverse parti di quel corpo che gli sta di fronte, in posizione eretta, si formerà delle idee tattili di ciò che va esplorando: testa, spalle, petto, addome e poi braccia, mani, gambe, piedi. Riconoscerà in una certa conformazione e in una certa predisposizione delle parti la testa, in un'altra le mani, e così via.

Sempre per mezzo del tatto si è altresì formata, nel frattempo, anche l'idea del suolo su cui devono stare poggiati i piedi, e di qui ha dedotto che tutte le volte che un uomo appoggia i propri piedi al suolo, occupa una posizione eretta ( Berkeley, tr. it. 1995: 90-91 ).

In un secondo momento, prova ad immaginare cosa possa succedere se il suddetto cieco acquisisca la vista all'improvviso e possa vedere un altro uomo che gli sta di fronte. Non potrà giudicarlo né dritto né in nessun'altra posizione, dato che ha imparato a riconoscere la posizione verticale solo attraverso il tatto.

Più tardi, quando avrà avuto modo tanto di raffrontare e scindere le idee proprie del tatto con quelle della vista quanto di capire che a certi movimenti degli occhi (guardare in alto oppure in basso) è possibile associare certe idee acquistate con il tatto (appunto l'alto e il basso), allora, a quel punto, è probabile che l'associazione tra idee del tatto e idee della vista possa avvenire agevolmente. (Berkley 1995:117-119).

Un'altra teoria motoria interessante appartiene alla prima parte del 20° secolo, ed è stata divulgata da Margaret Floy Washburn, la quale ha proposto una teoria motoria di immagini mentali (Washburn 1914,1916).

Margaret pubblicò 127 articoli, tra il 1905 e il 1938, su parecchie tematiche che includono la percezione spaziale, la memoria, l'estetica sperimentale, le differenze individuali, la psicologia animale, le emozioni e la consapevolezza affettiva (Cavadi 2014:16).

Nel 1912, ponendo maggior attenzione sugli organi subvocali del linguaggio (Berlyne 1978), dimostrò che cosa poteva accadere quando viene chiesto al soggetto di rispondere con parole completamente non associate per cui, anche in assenza di istruzioni di questo tipo, è possibile seguire le associazioni che guidano le risposte. In base ai risultati di questo studio rilevò che alcuni soggetti ricorrono ad associazioni mediate: ad esempio, se la parola stimolo è "pecora", essi esprimono la risposta associata lana, ma se ne servono come stimolo per richiamare la risposta cotone (Cavadi 2014: 18).

Washburn considerò la coscienza un epifenomeno della scarica motoria di eccitazione e inibizione. Espose questa sua ipotesi in "motor theory in movement and mental imagery" (1916) e pose il problema dell'interpretazione, dal punto di vista dei fatti di coscienza, dei dati acquisiti nello studio del comportamento animale. Mise in evidenza alcuni processi motori trascurati perché ritenuti puramente accidentali, come le leggere contrazioni muscolari che accompagnano ogni processo attentivo (ibid).

Lieberman riteneva che non esistesse un invariante corrispondente al fonema e attraverso diversi studi tentò di risolvere il problema dell'assenza di invarianti, spiegando e ipotizzando che mentre l'invariabilità fosse riscontrabile a livello dei comandi neuromotori, la variabilità del segnale muscolare fosse dovuta a restrizioni meccaniche all'inerzia neuromuscolare e alla sovrapposizione temporale dei comandi successivi.

In base a questa teoria la percezione dei suoni equivale al percepire gestuale. In tale prospettiva, infatti, il parlato non è un sistema per produrre suoni, ma un sistema per produrre gesti articolatori attraverso l'azione di sei organi: le labbra, il vello, la laringe e il dorso, il corpo e la punta della lingua. Da questo punto di vista, i suoni verbali vengono compresi

(almeno in parte) in riferimento a come vengono articolati e non a come vengono percepiti acusticamente (Adornetti 2012: 23).

Un'analisi interessante su tale grado di riduzione può essere visto sullo sfondo della teoria Hyper & Hypo (iper ed ipo) di Lindblom.

Egli (1986; 1990; 1996) cerca di affrontare da un punto di vista fonetico, la variabilità della produzione linguistica, attraverso l'analisi di un continuum che procede dall'hyper-speech (ossia il parlato più accurato e scandito) all'hypo-speech (il parlato informale e trascurato). Secondo tale teoria la produzione fonetica è connessa alla capacità di decodifica percettivo-uditiva per cui l'intelligibilità del parlato è data dalla somma dell'informazione fonetica (signal dependent) e dall'informazione recata dal contesto linguistico ed extra-linguistico (signal independent).

La percezione è un processo quindi attivo in cui le informazioni acustiche sono usate dall'ascoltatore per formare delle ipotesi sulla struttura della frase.

L'interpretazione finale dell'ascoltatore dipende, quindi, da un numero di variabili che si aggiungono all'informazione strettamente acustica ed interagiscono con essa.

L'idea di base è che il parlante usi il più spesso possibile la modalità ipo per risparmiare energia, finché non si imbatte in fattori contestuali o linguistici che richiedano una pronuncia più iper.

Come fa notare Lindblom (1992) stesso, la teoria suggerisce che la mancanza di invarianza, che i segnali del linguaggio articolato esibiscono comunemente (Perkell, Klatt 1986) è una conseguenza diretta di questa organizzazione adattiva (MacNeilage 1970).

Un esempio utile ad illustrare questa teoria è fornito dal "Lombard's effect", teoria che prende il nome dal suo scopritore e medico francese Etienne Lombard.

Intorno al 1911 Lombard pubblicò un articolo basato sull'osservazione che egli fece all'Ospedale Lariboisière a Parigi durante l'esame ad un paziente grazie allo strumento inventato dal fisico otorino Robert Barany Lombard.

Lombard presentò il rumore ad un paziente impegnato in una conversazione. Scopì in tal modo che la persona aumentava il tono vocale ogni volta che veniva esposto al rumore, e quando il rumore si fermò, abbassò di nuovo la sua voce al suo livello precedente. Il paziente era ignaro dei cambiamenti e dello sforzo vocale.

In una successiva serie di esperimenti, Lombard ampliò la scoperta iniziale, e riferì i suoi reperti in una lettera all'Accademia francese delle scienze nel mese di agosto 1909, e poi all'Accademia di Medicina nel mese di aprile 1910.

Innanzitutto le teorie motorie falliscono nel dimostrare predizioni efficienti circa le regolarità dei sistemi fonologici; secondariamente le stesse hanno una certa difficoltà a spiegare un determinato numero di fenomeni nei quali la produzione del discorso porta ad una variabilità di principio negli stimoli della produzione articolata del discorso (Fowler 1986).

La PACT propone una sintesi tra il punto di vista motorio e auditorio.

La teoria motoria di percezione del linguaggio ha origine negli anni '50 (Lieberman et al. 1952; Liberman 1957) per affrontare il problema di invarianza e di variabilità in relazione con fenomeni di coarticolazione (Perkell & Klatt 1986). In questo contesto, gli oggetti della percezione dell'articolazione linguistica non sono né solamente auditori né tanto meno esclusivamente motori. Essi sono sia percezioni multisensoriali regolarizzate dalla conoscenza della produzione del discorso, sia gestualità dello stesso raffigurate dai processi percettivi.

Tale teoria motor-sensoriale ha anche dei fondamenti neuroanatomici, basati su quella che comunemente viene chiamata "radice dorsale" della percezione del discorso nella corteccia umana che unisce le aree temporali con quelle parietali (Hickok & Poppelv 2007; Skipper et al. 2007).

Un modello più recente, chiamato DIVA, propone di spiegare la produzione articolata tramite una serie di relazioni tra gli obiettivi neurocomputazionali sensoriali, l'attività cerebrale, la potenza motoria vocale, le conseguenti uditive e le sensazioni somatosensoriali (Guenther 1994,1995; Guenther, Ghosh e Tourville 2006; Guenther, Hampson e Johnson 1998).

DIVA fornisce una base unica per fare test quantitativi di ipotesi circa i meccanismi neurali di controllo motorio del discorso e le loro conseguenze comportamentali (cinematiche ed acustiche).

La maggior parte degli studi più recenti sono stati ispirati direttamente da DIVA. La volontà di determinare se la percezione del discorso coinvolge rappresentazioni e processi uditivi o multisensoriali, indipendentemente da ogni conoscenza procedurale per la produzione di unità di discorso (Diehl, Lotto e Holt 2004), o se invece si basa su una ricodifica degli input sensoriali in termini di gesti articolatori, così come formulato nella "Teoria Motoria della Percezione dell'articolazione linguistica" (Lieberman, Cooper, Harris, e MacNeilage 1962; Liberman e Mattingly 1985; Liberman e Whalen 2000) ha infiammato il dibattito sulla natura della comunicazione vocale e ancora oggi costituisce un punto nodale per la validità delle teorie motorie del linguaggio articolato.

A favore di queste ultime, di certo può essere considerata la scoperta dei neuroni specchio (Rizzolatti e Craighero 2004; Rizzolatti, Fogassi e Gallese 2001), che ha fortemente rinnovato l'interesse per le teorie motorie.

### **3.4 Neuroni Specchio: studio evolutivo e scientifico**

La teoria dei neuroni specchio della comprensione delle azioni (di Pellegrino, Fadiga, Fogassi, Gallese & Rizzolatti 1992 , Gallese, Fadiga, Fogassi, & Rizzolatti 1996 ; Rizzolatti & Craighero 2004 ; Rizzolatti, Fogassi, e Gallese 2001 ) è l'ultima di una lunga serie di teorie motorie ( Liberman, Cooper, Shankweiler, e Studdert-Kennedy 1967).

Una delle scoperte più importanti nel campo delle Neuroscienze degli ultimi decenni, è quella dei cosiddetti "neuroni specchio" la cui fondamentale determinazione ha spinto molti scienziati, come Ramachandran ad affermare che: "I neuroni specchio saranno per la psicologia quello che il DNA è stato per la biologia"(Mendolesi 2014).

Intorno agli inizi degli anni '90, infatti, un'èquipe di neurofisiologi guidata dal Prof. Giacomo Rizzolatti dell'Università di Parma, composta da Luciano Fadiga, Leonardo Fogassi, Vittorio Gallese e Giuseppe di Pellegrino, scoprì il sistema neuronale denominato a specchio.

Si tratta di una popolazione di neuroni visuo-motori individuati nei primati, in alcuni uccelli e nell'uomo. Scoperti nella corteccia premotoria del cervello del macaco (area F5), l'attivazione di questi neuroni avviene sia durante l'esecuzione di azioni attive, come portare il cibo in bocca o afferrare con le mani un oggetto, sia durante l'osservazione delle stesse azioni compiute da altri. (di Pellegrino & al. 1992; Gallese et al. 1996; Rizzolatti et al. 1996a).

I ricercatori sorprendentemente registrarono l'attività di alcuni motoneuroni del macaco, che, immobile, osservava uno dei ricercatori nell'intento di prendere una banana dal cesto della frutta. In altre parole, la scimmia non si era mossa, ma i suoi motoneuroni avevano reagito alla vista dell'azione condotta dallo sperimentatore. Le successive misurazioni sperimentali, inizialmente ritenute erronee, confermarono quanto inizialmente osservato, in un certo senso quasi per caso (Gallese 1996). Altri dati sperimentali in tempi successivi confermeranno le scoperte specificando il coinvolgimento di altre aree corticali, e disegnando quindi la formazione di un vero e proprio sistema neurale composto da circuiti cortico-corticali di integrazione sensoriale che interessano sia la corteccia motoria e premotoria del lobo frontale, sia la corteccia parieto-temporale (Fogassi 2005).

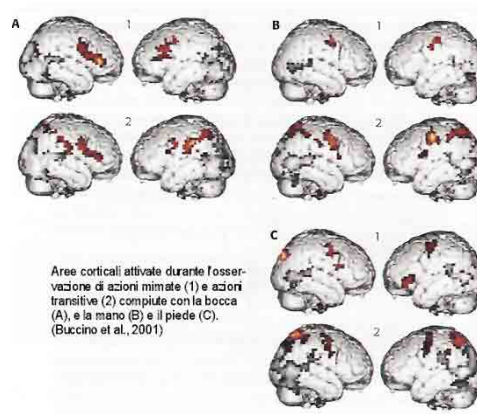
A differenza delle altre specie, nell'uomo oltre alle aree motorie e premotorie, i neuroni specchio occupano anche l'area di Broca e la corteccia parietale inferiore.

Esistono diverse ipotesi relative alla funzione del sistema a specchio.



Se da una parte abbiamo la teoria secondo la quale il processo di apprendimento mediante imitazione, in cui la comprensione delle azioni compiute da altre persone è di importanza fondamentale (Vygotskij 1978), dall'altra abbiamo i sostenitori che ritengono che le azioni osservate possano essere riprodotte da un meccanismo di simulazione come il sistema specchio che mette in relazione i processi linguistici con la teoria della mente.

La localizzazione non totale di alcune attività complesse quali la comunicazione e il linguaggio in una porzione dell'area di Broca, ha suggerito l'ipotesi che i neuroni specchio possano costituirne la base biologica (Théoret, Pascual-Leone 2002). Per ultimo, sono state avanzate alcune ipotesi sul ruolo svolto dal sistema specchio nei meccanismi patogenetici di alcuni disturbi psichici, tra cui l'autismo infantile (Oberman & al. 2005), in cui una delle caratteristiche principali è costituita dall'incapacità di cogliere gli stati affettivi altrui (Dapretto & al. 2006).



Se nelle scimmie è stato possibile osservare e studiare sperimentalmente l'attività di singoli neuroni specchio, nell'uomo esistono dei limiti che sono stati aggirati solo grazie a metodiche non invasive di visualizzazione dell'attività delle aree cerebrali.

Tecniche di procedure neuroimaging quali la fMRI, la PET e la TMS sono stati fondamentali per la localizzazione delle aree anatomiche "abitate" dai neuroni specchio che si attivano durante l'osservazione delle azioni altrui.

La porzione rostrale anteriore del lobo parietale inferiore (che sembra corrispondere all'area 40 di Brodmann, omologo umano all'area PF nella scimmia); il settore inferiore del giro precentrale; il settore posteriore del giro frontale inferiore (che corrisponderebbe all'a-

rea 44 di Brodmann, considerata l'omologo umano dell'area F5 della scimmia) (Rizzolatti, Sinigaglia 2006).

Per quanto concerne il sistema specchio nell'uomo, alcuni esperimenti indicano un'organizzazione di tipo somatotopico: durante l'osservazione di azioni transitive (mordere una mela, afferrare una tazzina di caffè, calciare un pallone) eseguite da altri, si attivano alcune regioni del sistema motorio fronto-parietale che comprende anche l'area di Broca, parti della corteccia premotoria e del lobo parietale inferiore. La maggiore estensione dimensionale e la crescente complessità del sistema specchio umano rispetto a quello della scimmia rivela quindi che esso è in grado di selezionare sia un tipo di azione che la sequenza di movimenti di cui è composta (Buccino et al. 2001).

La scoperta dei neuroni a specchio e l'ipotesi di un vero e proprio sistema a specchio ad essi correlato, sono state presentate come veri e propri contributi atti a spiegare non solo l'origine ma anche il funzionamento del linguaggio.

Tali unità cellulari vennero considerate veri e propri simulatori di realtà virtuale (Gallese et al. 2006), poiché replicavano all'interno dell'encefalo dei primati ciò che accadeva al di fuori, come se i macachi avessero la facoltà di interpretare i gesti altrui e simularli attraverso una decodifica del comportamento.

L'idea di avere nel cervello strumenti capaci di decodificare il comportamento degli altri, generando empatia, si rivelò estremamente interessante e permise di applicare la teoria allo studio della comunicazione e della cognizione umana.

La caratteristica specifica dei sistemi neuronali specchio consiste, quindi, nelle funzioni sensoriali e motorie che si attivano in relazione a uno specifico atto o ad una sequenza comportamentale (Fogassi et al. 2005; Iacoboni et al. 2005).

Nel corso dell'osservazione, e prima ancora dell'esecuzione degli atti motori, tutte le informazioni senso-motorie mettono in moto i circuiti neurali a specchio che anticipano l'intenzione, ossia lo scopo dell'azione, assumendo il controllo della realizzazione della stessa.

In altri termini, i neuroni specchio permettono di stabilire una relazione tra l'informazione visiva e il riconoscimento dello schema motorio: ciò richiede l'intervento di precisi meccanismi di anticipazione e di controllo che implicano una relazione causale tra l'attivazione neurale e gli effetti che essa determina (Rizzolatti et al. 1996a).

Rizzolatti e Arbib (1998) (dopo aver ricordato sia che la connessione tra percezione e l'esecuzione delle azioni ha luogo nei primati in un'area corticale omologa all'umana area di Broca, sia che non solo la vista, ma anche l'ascolto di un'azione altrui può attivare i neuroni a specchio implicati nell'esecuzione della stessa), hanno molto insistito sul fatto che l'ipotesi di un sistema di neuroni a specchio possa stabilire una contiguità tanto neurofisiologica quanto evolutiva tra mimesi gestuale ed articolazione linguistica.

Altri studi hanno in seguito arricchito queste ipotesi, da citare quelli di Olaf Hauck et al. (2004) e Tettamanti et al. (2005) i quali, attraverso l'utilizzo di fMRI, hanno dimostrato come la lettura di diversi verbi d'azione possa provocare l'attivazione dei neuroni motorii corrispondenti: chi legge il verbo *correre* attiva somatopicamente, cioè secondo la figura dell'*homunculus*, la parte della corteccia motoria responsabile del movimento delle gambe, mentre chi legge *prendere* attiva quella che controlla il movimento delle mani.

Il concetto di ciascuna di queste azioni si incarna dunque, tra l'altro, nello schema sensorio-motorio che permette di effettuarla.

Tra gli esempi proposti da Hauck, una posizione rilevante è stata la scelta di una paronomasia<sup>3</sup>, decisa allo scopo di minimizzare l'interferenza del movimento articolatorio con l'attivazione dei neuroni motorii dovuta ai concetti: *kick*, *pick*, *lick*. ( Nobile, 2012: 23).

Il verbo *kick*, che significa "calciare", attiva uno schema sensorio-motorio che coinvolge i piedi dell'*homunculus*, il verbo *pick*, ossia "cogliere", ne coinvolge le mani, mentre *lick*, "leccare", la lingua.

Tale paronomasia illustra bene il modo in cui è possibile pensare che i valori si riferiscano ai concetti.

Da un punto di vista fonologico, *kick* è distinto da una [occlusiva; velare; sorda], *pick* da una [occlusiva; labiale; sorda], *lick* da una [costrittiva; alveolare; sonora].

Tanto *kick* quanto *pick* costituiscono una coppia di contrari, distinti esclusivamente dal luogo di articolazione, mentre *lick* rappresenta un elemento asimmetrico, distinto anche dall'apertura e dalla sonorità.

Se poi si scende nei particolari, si può notare come ad un'azione seguita coi piedi (*kick*), situata nella parte bassa del corpo, si oppone un'azione eseguita con le mani (*pick*), situata nella parte alta. Tra queste due polarità, *lick* occupa un luogo intermedio, giacché la lin-

---

<sup>3</sup> paronomasia Figura retorica, detta anche annominazione, che consiste nell'accostare due parole simili nel suono ma distanti nel significato; lo scopo è di creare una tensione semantica fra le voci coinvolte (amore amaro; lo fui per ritornar più volte volto, Dante) ( www.treccani.it )

gua non può essere definita né anteriore quanto le mani, né posteriore quanto i piedi; ma, soprattutto, si distingue per altri tratti: l'apertura, la sonorità, e la lateralità di /l-/, unica consonante a mobilitare i lati del muscolo cui *lick* si riferisce. Se dunque i concetti di *kick*, *pick*, *lick* sono incarnati in schemi sensomotori che coinvolgono piedi, mani e lingua, i valori di /k-/, /p-/, /l-/ sembrano riferirsi a tali concetti in questo modo: essi distinguono le proprie posizioni relative, all'interno della cavità orale, come le posizioni relative degli schemi sensomotori che identificano i concetti si distinguono all'interno del corpo (ibid.: 24).

### **3.4.1 Neuroni specchio: controversie scientifiche sulla loro esistenza**

A contrastare la teoria dell'esistenza dei neuroni a specchio nell'uomo ci pensa la ricerca scientifica pubblicata nella rivista "Pnas" dal titolo *Asymmetric fMRI adaptation reveals no evidence for mirror neurons* (Caramazza, Lignau 2009).

Per valutare se il cervello umano contenga neuroni specchio, gli studiosi hanno utilizzato una tecnica chiamata fMRI Adaptation.

Si tratta di una tecnica capace di indagare se una specifica area cerebrale è sensibile al cambiamento di una proprietà di uno stimolo (ad esempio, il colore o la forma), o se invece non risponde a un simile cambiamento (il principio è che la ripetizione di uno stimolo provoca una risposta sempre meno forte delle cellule nervose interessate (Grill-Spector, Malach 2001; Grill-Spector, Henson, Martin 2006; Krekelberg, Boynton, van Wezel 2006).

La fMRI Adaptation, può essere usata per valutare le previsioni circa gli "accoppiamenti diretti": i neuroni specchio dovrebbero adattarsi alla ripetizione dello stesso atto motorio, indipendentemente dal fatto che l'atto motorio sia osservato o compiuto. (Caramazza et al. 2009).

Proprio utilizzando tale tecnica, Chong et al.(2008) hanno riferito di un adattamento nella zona ventrale destra inferiore del lobo parietale per azioni che venivano compiute e quindi osservate, ma non sono riusciti a trovare un adattamento per azioni che siano state prima osservate e poi compiute.

Dato che gli atti motori presi da loro in considerazione coinvolgevano "oggetti bersaglio" (una penna, un fiammifero), non è chiaro se l'adattamento relativo ad atti motori che erano prima compiuti e poi osservati sia dovuto all'attivazione diretta dei neuroni

specchio o piuttosto all'adattamento a proprietà relative all'oggetto coinvolto associate con il movimento, invece che al movimento stesso.

L'unico altro studio che ha cercato un adattamento transmodale (Dinstein, Hasson, Rubin, Deeger 2007) non è riuscito a trovarlo e, quindi, nemmeno esso ha dato prove dell'esistenza dei neuroni specchio.

Gli unici due studi condotti con la fMRI, i quali hanno cercato direttamente nel cervello umano le aree selettive per il movimento in modo indipendente dalla modalità, non hanno fornito prove convincenti dell'esistenza di neuroni specchio.

Il maggior punto di disaccordo con Rizzolatti sta nell'interpretazione del ruolo dei neuroni specchio. La loro esistenza è compatibile con un ruolo potenziale nella comprensione dell'azione; ad oggi tuttavia non è stato dimostrato che i neuroni specchio svolgano davvero un ruolo funzionale nella comprensione dell'azione (Caramazza et al. 2009).

## **ESPERIMENTO:**

Vennero esaminati dodici volontari sani non mancini (8 maschi) di età media di 27,4 anni, (range 22-37 anni).

Tutti i partecipanti hanno firmato un consenso informativo per la loro partecipazione allo studio.

Le procedure sperimentali sono state approvate dal comitato etico per gli esperimenti che coinvolgono esseri umani presso l'Università di Trento.

I video clip sono stati scattati attraverso l'utilizzo di una videocamera digitale (HDR-UX1E, Sony) e sono stati elaborati con software di editing video (Avid Liquid 7, Pinnacle Systems) e MATLAB (The MathWorks). Gli stimoli sono stati proiettati su uno schermo da un proiettore a cristalli liquidi ad un frame rate di 60 Hz e una risoluzione dello schermo di  $1.280 \times 1.024$  pixel (media luminosità: 109 cd / m<sup>2</sup>).

I partecipanti sono stati incaricati di eseguire l'atto motorio corrispondente al pittogramma ogni volta che visualizzavano un video criptato con un pittogramma.

Quando visualizzavano un video di un atto motorio, il loro compito era quello di osservarlo. Tra le esecuzioni dell'atto motorio, ai partecipanti è stato detto di tenere la mano destra in una posizione rilassata. Il palmo aperto della mano destra doveva essere collocato sulla coscia.

Quindi, durante l'esecuzione i partecipanti muovevano l'arto per poi riportarlo in posizione rilassata.

Tanto il giorno prima dell'esperimento fMRI quanto lo stesso giorno, i partecipanti sono stati istruiti ad eseguire tutti gli atti motori associati ai pittogrammi prima dell'esperimento in un lasso di tempo richiesto di 2 s.

## **RISULTATO**

la fMRI non ha provato l'attivazione delle aree cerebrali sensibili ai cambiamenti nel caso di atto motorio prima compiuto e poi osservato (cross-modal adaptation). Da ciò deriva che l'osservazione e l'interpretazione degli atti motori non dipendono dalla simulazione ad opera del sistema motorio e, quindi, che i neuroni specchio non svolgono un ruolo così funzionale nella comprensione dell'azione, nell'empatia o nella spiegazione di patologie cognitive come l'autismo.

Il risultato dello studio condotto critica il paradigma teorico riduzionista, il quale sostiene che tutta la cognizione può essere ricondotta alle rappresentazioni senso-motorie.

Secondo la prospettiva dei ricercatori trentini, c'è un notevole gap tra la scoperta originaria dei neuroni specchio che manifestano una selettività rispetto agli atti motori e il loro coinvolgimento nelle funzioni cognitive superiori dell'uomo. Queste ultime spesso non possono essere tutte collegate a semplici relazioni, come sentire il suono della rottura di una noce e associarlo con il relativo atto motorio.

### 3.4.2 Hickok vs Rizzolatti: il mito dei neuroni specchio

Gregory Hickok, professore di Scienze cognitive presso l'Università della California a Irvine, sostiene come sia sensato che il cervello abbia un meccanismo per comunicare le informazioni sulle azioni percepite degli altri ad aree motorie che codificano le operazioni da eseguire.

Egli infatti contesta le risposte semplicistiche che la tesi dell'esistenza di un sistema di neuroni a specchio darebbe a comportamenti umani complessi come il linguaggio, l'apprendimento, la teoria della mente, l'imitazione e l'autismo.

Egli sostiene la mancanza di prove dirette che nelle scimmie i neuroni specchio siano davvero alla base della comprensione delle azioni, che c'è differenza tra le risposte del "sistema specchio" nei macachi e nell'uomo, e che, soprattutto, l'esecuzione di un'azione e la sua comprensione siano attività separate e che siano troppo deboli.

L'autore sembra porsi diverse domande su come facciano i neuroni specchio a decidere quali sia l'azione da simulare e quale no, se fossero davvero capaci di operare questa scelta, e da dove si può provare questa loro facoltà.

L'ipotesi per cui propende Hickok è che il sistema a specchio dei macachi e quello degli umani funzionino in modo diverso perché le reti neurali computazionali a cui sono collegati, sono molto differenti. Tutto ciò che viene attribuito al sistema dei neuroni specchio nell'uomo (Ripamonti 2015:42). Egli esclude che vi siano prove dirette e che nelle scimmie i neuroni specchio siano alla base della comprensione dei gesti altrui.

Le risposte dei neuroni nei macachi non sono paragonabili alle reazioni dei neuroni negli uomini, in quanto l'esecuzione e la comprensione delle azioni negli esseri umani avvengono in maniera separata.

Ci vuole quindi, secondo Hickok, un procedimento ben più articolato per spiegare l'imitazione umana (ibid).

Il neuroscienziato pone anche l'accento sulla mancanza di prove concrete che eventuali danni al sistema specchio umano possano dar luogo a deficit di comprensione delle azioni: secondo i sostenitori di questa teoria infatti, le cause dell'autismo sarebbero da ricondurre a una ipotetica 'rottura' di questi specchi, riducendo una patologia complessa a un mero malfunzionamento neuronale.

Le anomalie riscontrate da Hickok non devono tuttavia portare all'abbandono totale della teoria dei neuroni specchio alla base dell'apprendimento dei comportamenti; le stesse de-

bolezze di questi studi potrebbero condurre a esplorare spiegazioni alternative della loro attivazione, quale, ad esempio, l'associazione senso-motoria, allo scopo di scegliere l'atto da effettuare, processo che farebbe considerare queste cellule non più la causa ma la conseguenza della comprensione delle azioni degli altri (ibid: 43-44).

Il libro, così come riferisce lo stesso Arbib in "the myth of the myth of neurons mirror" (2014) si compone di quattro parti che sottolineano quattro importanti punti di vista. La prima parte è un elenco di false dichiarazioni di ciò che i neuroni specchio possono fare, così come è pubblicato dalla stampa popolare e in molte pubblicazioni tecniche e scientifiche che spacciano queste idee da Hickok considerate sbagliatissime.

La presentazione che ne fa è molto divertente, ma al contempo crea, nel lettore l'idea che i neuroni specchio siano spazzatura, in tal modo da falsare il lettore nei capitoli successivi. Nella seconda parte, cerca di decantare e di omaggiare i neuroni specchio, ma alla fine non vi riesce e, invece, ne diventa un acerrimo critico.

Nella terza parte, l'autore pone l'attenzione sullo sviluppo del linguaggio, partendo dalla teoria motoria della percezione del linguaggio articolato sino ad arrivare ad evidenziare il ruolo dei neuroni specchio sulla lingua parlata.

Nell'ultima parte, i capitoli finali ammettono che ci sono alcuni aspetti non mitici nella ricerca dei neuroni specchio che meritano un'ulteriore attenzione.

Hickok conclude con un attacco frontale sul gruppo di Parma che non riesce a riconoscere la grande quantità di dati validi che hanno accumulato.

La risposta di Rizzolatti non tarda ad arrivare (Rizzolatti 2015).

Egli paragona la linea critica di Hickok più all'arringa dell'avvocato di una puntata della serie televisiva "Law and Order" che ad una seria confutazione scientifica (ibid: 2).

Ponendo una domanda idiomatica, a cui egli stesso risponde fermamente in senso negativo, ai lettori ovvero se sia possibile ridurre ad una minima quantità di neuroni tutte le potenzialità evidenziate nei neuroni a specchio, non solo pone in evidenza che i neuroni con meccanismo a specchio sono presenti sia negli uccelli (Prather et al. 2008; Keller & Hahnloser, 2009), quanto nelle marmotte (Suzuki et al. 2014), nelle scimmie (Gallese et al. 1996; Rizzolatti et al. 1996) e nell'uomo stesso (Rizzolatti et al. 2014) .

Come egli stesso dirà, i neuroni a specchio che si mettono in moto quando un uccello canta o sente la stessa canzone, hanno funzioni diverse, ovviamente, dai neuroni a specchio della insula attivati quando disgusto è suscitato da stimoli naturali o innescata dall'osservazione di una smorfia disgustata (Wicker et al. 2003).



Il meccanismo specchio può evidenziare, di conseguenza, il riconoscimento dei brani negli uccelli o la condivisione delle emozioni altrui negli esseri umani, la comprensione degli obiettivi d'azione nei macachi (e negli esseri umani) o, sempre nel caso degli esseri umani, il riconoscimento dei fonemi.

Entro certi limiti, il meccanismo a specchio potrebbe essere paragonato a meccanismi fondamentali quali, per esempio, eccitatorio (EPSP) o inibitorio (IPSP), potenziali postsinaptici. (Rizzolatti 2015:3).

Un secondo punto sollevato dal Hickok riguarda l'azione della comprensione.

Parafrasando Hickok, la questione che si pone è la seguente: E' possibile affermare che tutte le azioni che osserviamo siano comprese in virtù di un meccanismo motorio? Noi non voliamo, eppure riconosciamo quando un uccello vola (ibid).

Secondo Hickok la teoria a specchio è figlia della teoria del controllo motorio del linguaggio e quindi deve essere sbagliata.

In realtà, mentre le idee di Lieberman (Lieberman & Mattingly, 1985) di certo hanno aiutato gli scienziati di Parma a formulare la teoria a specchio della comprensione delle azioni, la proposta teorica si basava sui risultati precedenti in materia dell'organizzazione motoria corticale: cioè che neuroni nella corteccia premotoria ventrale codificano gli atti motori.

### 3.5 La teoria del frame/content

Interessante da sottolineare è la teoria del frame/content di MacNeilage e Davis (2002) la quale prevede che tra due sillabe consecutive ci sarebbe una determinante variazione nella dimensione alto/basso più che in quella antero/posteriore. Secondo tale teoria, il rapporto tra frequenze attese ed osservate nelle associazioni CV preferenziali (anteriori/posteriori, centrali/labiali, posteriori/velari), dovrebbe essere sempre superiore a 1.

Analizzando lo sviluppo motorio del linguaggio attraverso lo studio del blubbing, o lallazione, gli autori ritengono che il bambino sia capace di acquisire schemi motori e controllo articolatorio attraverso una singola base motoria universale, filogeneticamente e ontogeneticamente derivata dall'attività neuromuscolare legata alla nutrizione (Davis, MacNeilage 1995).

L'alternanza regolare e ritmica tra l'apertura e la chiusura della mandibola, è infatti generatore di un effetto acustico percepito dall'orecchio di un adulto come sillaba, o comunemente detta "prima parola". Questa sillaba inizialmente non è che una cornice vuota (pure frame) (MacNeilage e Davis 1990), un'imitazione della sillaba adulta il cui contenuto è caratterizzato da un numero di combinazioni tra CV, consonanti-vocali, spesso originate dalla stessa posizione della lingua legata al movimento ritmico di tipo oscillatorio della mandibola. Solamente quando il bambino, rivolgendo una maggiore attenzione verso la lingua parlata dell'adulto, aumenterà un maggior controllo sui singoli articolatori (la lingua soprattutto), si vedrà un'acquisizione di maggiore indipendenza degli elementi del contenuto (content), cioè i singoli foni, potendo per tanto generare effetti acustici simili a quelli che nel frattempo ascolta, quindi reali.

La somiglianza di queste vocalizzazioni al parlato adulto non è notata solamente dai suoi genitori, ma anche dallo stesso bambino, il quale, introiettando i patterns propriocettivi e gli effetti acustici, è in grado di paragonare i patterns del parlato esterno a quelli propri, e adeguare questi ultimi ai primi. Sempre secondo MacNeilage e Davis, nell'organizzazione intrasillabica del bubbling le consonanti linguali anteriori (coronali) co-occorrerebbero quasi esclusivamente con le vocali anteriori, le consonanti linguali posteriori (dorsali) con le vocali posteriori e le consonanti labiali anteriori con le vocali centrali (perché quando le labbra rilasciano la costrizione la lingua si troverebbe in posizione di riposo).

L'ipotesi del frame content consentirebbe di offrire una spiegazione plausibile sia dell'evoluzione dell'articolazione vocale che dello sviluppo ontogenetico della stessa, avvalorando la fondatezza delle teorie dello speech motor control.

Nella sua opera principale "the Origin of speech", MacNeilage presenta evidenze di studi cross-linguistici e studi sulla lallazione infantile che dimostrano come le co-occorrenze previste dalla teoria si verificano di preferenza.

Nel libro la teoria del frame content viene estesa ad uno scenario evolutivo.

Basando la propria ricerca sull'origine del discorso articolato, principalmente cercando di trovare risposte adeguate alle quattro domande principali che, secondo l'etologo Niko Tinbergen, ( 1963) dovrebbero essere applicate ed imposte per qualsiasi studio sul comportamento animale ossia, come il sistema articolatorio funziona; come e cosa fa quando interagisce sull'organismo; come a livello ontologico si sviluppa e come si è evoluto, MacNeilage cerca di analizzare e comprendere come il cervello venga coinvolto nella produzione del linguaggio complesso e articolato.

Utilizzando la teoria del frame / content, lo studioso fornisce una risposta alla domanda di come funziona, utilizzando uno scenario di come il discorso si sviluppa nei neonati.

Questi iniziano a produrre "frame", come detto precedentemente, al quale vengono aggiunti, con lo sviluppo fisico motorio, movimenti di contenuto.

La tipica lallazione inizia con quella che MacNeilage chiama "consonant-like" seguita da una "vowel-like" (ba-ba - da-da), da distinguere con il termine "vocale" e "consonante" poiché quest'ultime implicano un processo di unità di controllo motorio non sviluppato nel neonato.

In contrasto con il frame dell'adulto, quello del neonato è una produzione emergente della produzione ritmica determinata da cicli di chiusura e apertura della mandibola, una produzione biomeccanica del meccanismo periferico del discorso. Per quanto riguarda la funzione del linguaggio, è chiaro negli umani moderni, ma non si può presumere che nelle fasi precedenti dell'evoluzione sia stato in grado di svolgere la funzione comunicativa complessa che soddisfa oggi.

MacNeilage ipotizza che la sillaba potrebbe essersi evoluta come prodotto secondario del sollevamento (consonante) e abbassamento (vocale) alternati della mandibola, comportamenti già consolidati negli atti di masticare, succhiare e leccare.

Forse una serie di questi cicli della bocca, prodotti come schiocchi labiali, è stata usata da uomini primitivi come segnale di comunicazione, lo stesso ruolo presente oggi in molte specie di primati. Successivamente, la capacità di vocalizzazione della laringe sarebbe stata abbinata agli schiocchi comunicativi delle labbra, formando sillabe espresse verbalmente. Forse queste ultime sono state usate in un primo tempo per simboleggiare singoli

concetti, formando parole. Poi presumibilmente la capacità di formare frasi (linguaggio) si è evoluta quando i primi uomini hanno combinato i due tipi di parole che veicolano il significato principale delle frasi: per gli oggetti (sostantivi) e per le azioni (verbi). (MacNeilage, Rogers, Vallortigara 2009: 52). Col tempo sviluppa un controllo motorio indipendente degli articolatori coordinati.

Poiché la lingua comincia a diventare più indipendente dalla mandibola inizia una variegata produzione di sillabe di reduplicazione (“baba” diventa “bado” e poi “bottle”).

Infine, MacNeilage presenta prove in base alla quale la specializzazione emisferica del cervello non è unico per gli esseri umani, ma esiste già in tutti i primati.

La specializzazione dei due emisferi del cervello esisteva già 500 milioni di anni fa, quando hanno avuto origine i vertebrati. Sembra che in origine l'emisfero sinistro si sia concentrato sul controllo di comportamenti consolidati, e l'emisfero destro si sia specializzato nel rilevare e rispondere a stimoli inattesi. Forse, la parola e la lateralità destra si sono evolute da una specializzazione per il controllo di un comportamento ordinario (MacNeilage, Rogers, Vallortigara 2009). MacNeilage presenta prove da studi di afasia che indicano come *frame* e *content* siano controllati da diverse aree del cervello.

Utilizza anche la prova dallo studio dei neuroni specchio per sostenere ipotesi che sono cruciali nelle capacità imitative necessarie per l'apprendimento e culturalmente la trasmissione vocale.

I neuroni specchio sono neuroni che si attivano sia quando si osserva una certa azione e quando viene eseguita la stessa azione. Essi potrebbero quindi contribuire in azioni osservate una mappatura di comportamento motorio necessario per imitare tali azioni.

Il riconoscimento dei volti e l'elaborazione di relazioni spaziali potrebbero risalire alla necessità di percepire con rapidità i predatori.

Egli sostiene che l'origine posturale ha portato alla specializzazione dell'emisfero sinistro per le attività di routine, mentre l'emisfero destro è diventato più specializzato nel rischio comportamentale e di emergenza correlata.

La lingua, avendo a che fare con il comportamento di routine, pertanto utilizza parti dell'emisfero sinistro del cervello, mentre le aree del cervello hanno a che fare con l'emozione si trovano più nell'emisfero destro.

MacNeilage sottolinea l'importanza di concentrarsi sull'azione. Per comprendere l'evoluzione del discorso, è necessario comprendere l'azione fisica su cui si basa, e non solo i meccanismi mentali che sono alla base. Egli sostiene che, anche se l'interesse per la co-

gnizione incarnata è in aumento, l'azione è ancora trascurata sia in linguistica che in scienze cognitive, usando la mancanza di attenzione per l'azione in molte opere di riferimento in materia di scienza cognitiva come un esempio illustrativo. MacNeilage sostiene inoltre che nella maggior parte delle moderne teorie di fonologia, l'attenzione è rivolta solo agli aspetti mentali del discorso, mentre gli aspetti della fisica e di azione vengono ignorati. In tali teorie, il focus è su una nozione astratta di competenza, mentre il rendimento effettivo viene ignorato.

## CAPITOLO IV

### Controllo motorio dell'articolazione linguistica e attivazione cerebrale

#### 4.1 Elaborazione vocale nel cervello umano

La voce umana è chiaramente uno degli stimoli più importanti nel nostro ambiente uditivo, che non solo trasmette informazioni vocali, ma ci permette di riconoscere gli individui e gli stati emozionali (Belin et al. 2004). Negli adulti umani le voci vengono elaborate in regioni cerebrali specializzate situate nella parte superiore del solco temporale superiore (Belin et al. 2000). Recentemente è stato dimostrato che i macachi hanno una regione vocale-selettiva simile nel piano superiore temporale che risponde preferenzialmente alle vocalizzazioni di conspecifici, suggerendo che riconoscere il suono che è la vocalizzazione di un membro della stessa specie è una funzione cerebrale evolutivamente conservata nei primati che è indipendente dal linguaggio (Petkov et al. 2008, 2009).

Queste aree vocali selettive nella corteccia uditiva, simili alle aree visive selettive della corteccia visiva individuate sia negli adulti umani che nelle scimmie (Kanwisher et al. 1997; Tsao et al. 2006), sono ritenute legate all'elaborazione di criteri sociali, informazioni rilevanti ai sistemi sensoriali.

Il neuroscienziato Chris Petkov dell'Istituto Max Planck ed i suoi colleghi hanno utilizzato la funzione di risonanza magnetica funzionale (fMRI) per esplorare il cervello di queste scimmie (Belin et al. 2008).

Hanno misurato l'attività cerebrale dei macachi svegli intenti ad ascoltare diverse categorie di suoni naturali, tra cui le stesse vocalizzazioni dei macachi.

Hanno trovato prove di una "zona vocale" nella corteccia uditiva di questi primati: una regione discreta del lobo temporale anteriore in cui l'attività cerebrale era più grande per le vocalizzazioni che per altre categorie di suoni come i suoni naturali.

La stessa regione è stata osservata in diversi individui, anche in condizioni di anestesia totale. Ancora più notevole il fatto che ha dimostrato la riduzione dell'attività o l'adattamento neuronale, indotta dalla ripetizione, in risposta a diverse chiamate provenienti da uno stesso individuo.

Tutto ciò suggerisce che questa regione del cervello elabori informazioni sull'identità del parlante, un fenomeno che si osserva anche nell'area della voce umana.

L' implicazione più significativa di questa constatazione è che la zona vocale precedentemente identificata nel cervello umano non è unicamente umana e che ha una controparte nel cervello di primati non umani.

La maggior parte delle ricerche sulla base evolutiva del linguaggio si è concentrata finora su una singola funzione - percezione del linguaggio - che è univoco all'uomo e quindi i precursori evolutivi sono difficili, se non impossibili, identificare.

I risultati attuali riportati da Petkov, suggeriscono un'altra strategia, forse più gratificante: forse piuttosto guardando a ciò che abbiamo in comune con altri animali, cioè un substrato cerebrale ricco per elaborare vocalizzazioni ed estrarre informazioni relative ai parlanti, che ci permetterà di capire l'evoluzione del discorso. Petkov et al. suggeriscono che quando i nostri antenati cominciarono a parlare, qualche decina di migliaia di anni fa, erano già dotati di sofisticati macchinari neurali specializzati nel trattamento vocale.

Un'altra importante implicazione dei riscontri di Petkov e degli altri riguarda la lateralizzazione funzionale della zona vocale dei macachi.

Una proprietà ben consolidata del substrato cerebrale umano per il discorso (in particolare la produzione vocale) è la sua lateralizzazione all'emisfero sinistro. Questa asimmetria emisferica ha indotto i ricercatori ad indagare se una simile polarizzazione emisferica sinistra potrebbe essere trovata in altri animali, come un possibile precursore evolutivo del linguaggio umano.

Un aspetto controverso ma essenziale dei risultati di Petkov et al., simile ai corrispondenti risultati del cervello umano, è che l'attività selettiva vocale era più forte nell'emisfero destro.

Inoltre, l'adattamento neuronale dell'identità specifica è stato osservato solo nell'emisfero destro dei cervelli dei macachi, esattamente come notato nei corrispondenti studi umani.

Il risultato suggerisce che l'emisfero destro potrebbe avere un ruolo fondamentale nel modo in cui il discorso è apparso nei nostri antenati e che una risposta al puzzle dell'evoluzione linguistica non può contenere solo l'emisfero sinistro.

Negli adulti umani, le regioni temporali sensibili alle voci non solo reagiscono alle informazioni specifiche vocali, ma sono inoltre sensibili alla prosa emotiva, cruciale nella comunicazione sociale (Grandjean et al. 2005; Ethofer et al. 2006).

Una simile modulazione dell'elaborazione sensoriale da segnali emotivi è particolarmente forte per le emozioni correlate alla minaccia, si verifica indipendentemente dall'attenzione e si ritiene essere un meccanismo neurale fondamentale nelle regioni del cervello sensibili

sia al viso che alla voce per dare priorità alla elaborazione di stimoli significativi (Vuilleumier 2006).

Sebbene sia ben descritto per il cervello adulto, le origini dello sviluppo dell'organizzazione corticale sottesa alla elaborazione vocale e di processi emozionali nel cervello umano rimangono sconosciuti.

Le abilità di cognizione vocale, appaiono prima di quella che viene definita percezione linguistica nello sviluppo umano.

Mentre la discriminazione dei fonemi emerge nei bambini circa 2 mesi e l'elaborazione semantica lessicale circa 12 a 14 mesi dopo la nascita (Friederici 2005), i neonati hanno già ben sviluppati la capacità di percezione vocale.

Alcuni esperimenti hanno misurato i cambiamenti nelle frequenze cardiache nei neonati durante la presentazione di diverse voci, dimostrando le loro capacità di distinguere le voci, riconoscendo quelle degli estranei da quelle dei propri genitori (Ockleford et al. 1988), capacità questa già presente nei feti prima della nascita (Kisilevsky et al. 2003).

Negli adulti, l'elaborazione cerebrale dei suoni vocali occupa "le aree vocali temporali" (TVA) per lo più situate lungo la metà e le parti anteriori del Sulcus Superiore Temporale (STS).

Studi applicati fMRI, hanno dimostrato una maggiore attività nelle TVA sia in risposta a voci (discorso verbale e non, come ridere, emissione di colpi di tosse, ecc.) che in risposta ai naturali suoni non vocali (suoni ambientali, suoni musicali, vocalizzazioni animali ecc.), e all'ampiezza o alla frequenza di suoni di controllo acustico (Belin et al. 2000; Von Kriegstein e Giraud 2004).

Le TVA mostrano anche una forte sensibilità verso informazioni affettive (Ethofer et al. 2009; Grandjean et al. 2005) e sono funzionalmente connessi alle regioni più anteriori del lobo temporale destro durante il riconoscimento degli oratori (Von Kriegstein e Giraud 2004).

Di recente sono state individuate zone vocali selettive osservando il cervello dei macachi (Petkov et al. 2008), indicando una lunga storia evolutiva della elaborazione della voce cerebrale.

Poco si sa invece sull'elaborazione della voce cerebrale lungo l'asse dello sviluppo nell'uomo.

Le informazioni più recenti disponibili sullo sviluppo dell'elaborazione della voce cerebrale, sono fornite da un recente studio di Charest et al. (2009) che utilizza l'elettroencefalo-



grafia (EEG); in base a questi studi, i contrasti di udito potenziali, evocati ed acquisiti negli adulti in risposta alla stimolazione uditiva con suoni vocali e non, ha evidenziato l'esistenza di " Positività fronto-temporale alla voce " (FTPV) a circa 200ms dopo l'inizio dell'emissione del suono.

Una robusta FTPV è stato osservato in bambini 4-5 anni, suggerendo che l'elaborazione della voce cerebrale è già ben istituita all'età di 4 anni (Rogier et al. 2010).

Grossman et al. (2010) hanno cercato di esaminare lo sviluppo delle regioni cerebrali specializzate in cortici temporali superiori nelle quali si sviluppano le voci, portando avanti 2 esperimenti su neonati.

Nell'esperimento 1, il gruppo analizzato era costituito da 16 neonati di 7 mesi (otto femmine) di età compresa tra 201 e 217 giorni (Media = 210,2 giorni) e 16 bambini di 4 mesi (sette femmine) di età compresa tra 108 e 135 giorni ( Media = 123,1 giorni). I pazienti di 7 mesi, ma non i 4 mesi, hanno mostrato maggiore risposte in tre canali nella corteccia temporale posteriore, due situati nell'emisfero destro (canale 17 e 22) e uno localizzato nell'emisfero sinistro (canale 3), alla voce umana rispetto a suoni non vocali; Queste tre regioni del cervello hanno mostrato significativi incrementi di concentrazione dell'emoglobina ossigenata (oxyHb) quando la condizione vocale è stata confrontata con la condizione non vocale.

Nell'analisi delle risposte cervicali dei neonati di 4 mesi non sono stati ottenuti effetti di attivazioni simili. Piuttosto, una regione nell'emisfero destro ha mostrato significativi aumenti nell'oxyHb quando la condizione non vocale è stata confrontata con la condizione vocale.

Tutto ciò suggerisce che i sistemi cerebrali sensibili alla voce emergono tra 4 e 7 mesi di età.

Nell'esperimento 2, il campione finale era costituito da 18 neonati di 7 mesi (otto femmine) di età compresa tra 199 e 216 giorni (Media = 211,8 giorni). Altri 26 sono stati usati per entrambi gli esperimenti ma non sono stati inclusi nel campione finale perché avevano diversi artefatti e troppo pochi studi utilizzabili per l'analisi (numero minimo di cinque prove per condizione). Sia nell'esperimento 1 che 2, tutti i neonati sono nati a tempo pieno (gestazione 37-42 settimane) e con peso normale di nascita (> 2500 g).

I neonati di 7 mesi hanno ascoltato parole pronunciate con una prosodia neutrale, felice o arrabbiata. L'udito della prosodia emotiva ha determinato maggiori risposte in una regione sensibile alla voce nell'emisfero destro, (i canali 15 e 17) sensibili all'emozione nei neonati

di 7 mesi. Inoltre, una regione nella corteccia frontale inferiore, adottata per servire funzioni valutative nel cervello adulto, ha mostrato particolare sensibilità alla felice prosodia.

Lo schema dei risultati suggerisce che le regioni temporali si specializzano nell'elaborare le voci molto presto nello sviluppo e che, già nell'infanzia, le emozioni modulano in modo differenziato l'elaborazione vocale nell'emisfero destro.

Riassumendo, i risultati dei due esperimenti, forniscono per primi la prova della sensibilità vocale cerebrale nei neonati di 7 mesi.

L'elaborazione cerebrale vocale non solo ha una lunga storia evolutiva (Petkov et al. 2008, 2009), ma si sviluppa anche relativamente presto nei neonati, molto prima del discorso articolato, la percezione è pienamente sviluppata (Friederici 2005).

Il modello della sensibilità vocale osservato nei neonati da Grossmann et al.(2010) è paragonabile a quella osservata in soggetti adulti. Eppure la posizione della corteccia sensibile alla voce nei neonati appare più posteriore di quella osservata nell'adulto (tipicamente lungo il mezzo / anteriore STS, anche se il temporale posteriore il lobo posteriore mostra significativa sensibilità vocale), suggerendo che le regioni anteriori non sono ancora sensibili alla voce 7 mesi dopo la nascita.

Inoltre, forniscono una precisa linea temporale per l'emersione del processo cerebrale vocale nei neonati.

Misure di attività cerebrale nei neonati di 4 mesi, non evidenziano più risposte a suoni vocali rispetto a suoni non vocali; infatti, anche loro hanno mostrato l'inverso in una regione, un raro caso nel cervello adulto. Solo 3 mesi dopo, la sensibilità alla voce cerebrale è emersa.

Ciò rende il periodo tra i 4 e i 7 mesi dopo la nascita come un periodo critico per l'elaborazione dello sviluppo della voce cerebrale. In ultimo, i risultati evidenziano l'importanza fondamentale dell'emisfero destro nello sviluppo della comunicazione vocale nei neonati. La differenza nella sensibilità vocale nei neonati di 7 mesi si è dimostrata maggiore nell'emisfero destro che nell'emisfero sinistro. Ciò indica un ruolo centrale dell'emisfero destro " minore ", troppo spesso trascurato, nell'emergere della capacità vocale nella comunicazione nei neonati umani.

Non dimentichiamo che negli adulti, le TVA non sono solo sensibili alle voci, ma sono anche altamente selettive: esse rispondono più agli stimoli vocali che a una vasta gamma di suoni di controllo, anche acusticamente abbinati, mostrando che le TVA preferiscono gli

stimoli vocali non semplicemente guidati da un basso livello di parametri acustico (Belin et al. 2000).

A livello anatomico, occorre considerare che durante i primi mesi di vita, la proliferazione sinaptica continua ad un alto tasso, associato ad un esponenziale aumento dell'attività metabolica durante i primi mesi postnatali (Chugani e Phelps 1986). Allo stesso tempo si ha un incremento della mielinizzazione.

La radiazione uditiva che innerva il gyrus di Heschl mostra apparente mielinizzazione a circa 6 mesi di età (Kanazawa et al. 1998). In tal modo, tra i 4 e i 7 mesi, la regione del lobo temporale in cui sono ubicate le TVA negli adulti, subisce rapidi cambiamenti strutturali, che possono essere basati sull'acquisizione di specializzazioni per l'elaborazione vocale.

Il periodo di tempo relativo ai cambiamenti strutturali nello STS deve essere ancora esaminato più dettagliatamente.

## 4.2 Aspetti cognitivi della corteccia motoria (M1)

L'area cerebrale che si attiva quando compiamo un movimento, si attiva anche quando eseguiamo compiti cognitivi, come ricordare una sequenza di numeri o parole, ascoltare una melodia, immaginare come possa apparire un oggetto da un altro punto di vista o addirittura provare empatia quando vediamo un'altra persona soffrire.

A confermarlo è la ricerca dell'IRCCS Medea, la quale, esaminando i dati in letteratura su studi di neuroimaging, cioè quei lavori che indagavano quali aree cerebrali venivano attivate in soggetti impegnati in un determinato compito: in particolare sono stati presi in esame gli studi sulla corteccia motoria primaria, una regione del lobo frontale tradizionalmente pensata come l'area che governa il movimento (Tomasino B., Gremese M. 2016).

La corteccia motoria primaria (M1) ha fundamentalmente il compito di controllare diverse parti del movimento del corpo, partecipando alla trasformazione sensorimotoria dell'esecuzione motoria (Schieber 2000).

Il lavoro, pubblicato sulla rivista *Frontiers in Human Neuroscience*, non solo modifica il ruolo di quest'area del cervello, ma le conferisce anche una possibile dimensione cognitiva.

I ricercatori hanno eseguito uno studio di meta-analisi quantitativa combinata con l'uso di mappe dell'architettura cellulare della corteccia motoria, per verificare che effettivamente le attivazioni corticali durante compiti cognitivi avvenissero all'interno dell'area indagata e non in quelle limitrofe.

Durante la loro ricerca hanno testato l'ipotesi che ci sia una topografia funzionale nell'attivazione della M1, soprattutto negli studi in cui è stata coinvolta in più alti compiti cognitivi appartenenti a sei diverse categorie includenti:

- Sociale / emozione / empatia (empatia del dolore, cognizione sociale, ad esempio, i soggetti vedevano in alcune immagini una mano umana ritratta, situazioni dolorose o non dolorose oppure immagini con parole emotive);
- Lavoro di memoria (ricordare la posizione di un punto);
- Immaginazione motoria (simulazione mentale dei movimenti per esempio, immagini mentali di camminare o di battere le dita);
- Rotazione mentale (trasformazioni mentali, come un oggetto che ruota senza l'uso manuale o con l'uso delle mani e caratteri alfanumerici);
- L'elaborazione del linguaggio (rappresentazione semantica, l'azione di elaborazione testi per esempio, la lettura in silenzio di parole di azioni e non-azioni o di verbi);

- Immagini e percezione uditiva (ascolto passivo di discorsi articolati, canzoni, toni musicali).

Le sei categorie attivavano diversi sotto settori della M1, bilateralmente o lateralizzati ad un emisfero.

Il coinvolgimento di parti della M1 in elaborazione cognitiva, è stato confermato dagli studi sulle lesioni cerebrali in pazienti e su coloro i quali venivano utilizzate lesioni virtuali, principalmente causate da stimolazione magnetica trans cranica (TMS), dimostranti come una lesione alla M1 possa portare ad un deficit di immaginazione motoria della mano nei movimenti di rotazione, (Ganis et al. 2000; Tomasino et al. 2011).

In totale sono stati analizzati dati provenienti da 126 esperimenti, 1.818 soggetti e 2.030 coordinate di attivazione cerebrale.

Ebbene, gli studi di neuroimaging indagati hanno riportato attivazione funzionale nella corteccia motoria durante sei diverse categorie di compiti cognitivi: l'immaginazione motoria, la memoria di lavoro, la rotazione mentale, l'elaborazione sociale, la lingua e l'elaborazione uditiva.

L'analisi ha evidenziato che le diverse categorie cognitive attivano in maniera consistente diversi settori dell'area motoria e ha valutato anche l'ampiezza e la localizzazione del tessuto cerebrale dedicato.

## **MATERIALI E METODI**

Molte ricerche sono state elaborate tramite il data base PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>), il database di webofknowledge (<http://www.webofknowledge.com>) e la banca dati on-line (<http://brainmap.org>), utilizzata quest'ultima soprattutto per gli esperimenti di neuroimaging funzionale che hanno caratterizzato almeno un cluster sulla corteccia motoria primaria.

Sono stati identificati i paradigmi appartenenti alle 6 categorie funzionali.

Sono state utilizzate le seguenti parole chiave: somatosensoriale, precentrale, postcentrale, somatomotoria, M1, S1.

Queste parole, di volta in volta, sono state combinate per ogni coppia di parole.:

- Per il campo sociale / emozione / empatia è stato aggiunto: empatia e la risonanza magnetica, l'empatia il dolore e mentalizzazione e la risonanza

magnetica, la cognizione sociale e la risonanza magnetica, la teoria della mente e la risonanza magnetica.

- Per il campo di elaborazione del linguaggio, è stato aggiunto: decisione lessicale, parole di azione.
- Per il campo di rotazione mentale, abbiamo aggiunto: rotazione mentale-
- Per il campo immaginazione motoria, abbiamo aggiunto: immaginazione motoria.
- Per il campo Lavoro di memoria, abbiamo aggiunto per la memoria di lavoro.
- Infine per il campo uditivo, abbiamo aggiunto: uditivo.

La regione di interesse (ROI) corrisponde con M1 ed è stata definita utilizzando l'SPM Anatomy toolbox (Eickhoff et al. 2005).

Le maschere anatomiche sono state create utilizzando la funzione "create anatomical ROIs" dell'Anatomy tool e selezionando le aree 4a e 4p dell'emisfero destro e sinistro.

La maggior parte delle metanalisi sono state condotte attraverso l'utilizzo della PET o della fMRI su pazienti in salute non soggetti a cure farmacologiche o cliniche.

Ogni partecipante utilizzava la mano destra eccezion fatta per un mancino.

Sono stati esclusi un totale di 331 studi non riportanti informazioni o specifiche sull' M1 e 45 che, anche se si sostenga di avere un'attivazione in M1, non hanno segnalato le coordinate corrispondenti.

Inoltre, sono stati considerati solo gli studi che hanno riportato le coordinate in uno spazio di riferimento standard (Talairach / Tournoux, MNI).

Le differenze di spazio di coordinate (MNI vs. spazio Talairach) sono stati contabilizzati trasformando le coordinate riportate nello spazio Talairach in MNI coordinate da una trasformazione lineare (Lancaster et al. 2007).

Per potere confrontare immagini cerebrali in individui normali e patologici, si devono mettere in atto complessi processi di trasformazione dei dati grezzi al fine di compensare le ovvie differenze individuali della struttura del cervello. Questo viene fatto trasformando i dati originali e riconducendoli a uno spazio stereotassico standardizzato. Il sistema di coordinate più comune è quello introdotto da Talairach and Tournoux (1988) attraverso il quale vengono normalizzate le differenze individuali nel volume del cervello e vengono

identificate le sue aree. In base a questo sistema ogni punto del cervello umano viene definito dall'intersezione degli assi x, y e z, con origine nella commessura anteriore.

Questa normalizzazione è cruciale sia per l'esatta individuazione delle aree cerebrali coinvolte nei processi mentali, ma ancor più per lo studio delle alterazioni conseguenti a malattia, come ad esempio quelle coinvolte nei processi degenerativi. La normalizzazione è tuttora un processo delicato su cui non esiste una soluzione conclusiva (Rorden & Karnath, 2004).

## **DISCUSSIONE**

Attraverso l'utilizzo di strumenti d'immagine del cervello sulle scimmie (Ashe et al. 1993; Pellizzer 1996; Carpenter et al. 1999; Wise and Murray 2000) e della stimolazione magnetica transcranica (TMS) e negli umani, alcuni studiosi hanno elaborato come l'M1 possa essere coinvolta anche nelle funzioni motorie superiori (Ganis et al. 2000; Tomasino et al. 2005; 2008).

Tali ricerche hanno suggerito che l'M1 non gioca solo un ruolo importante nella compatibilità stimolo-risposta, nella plasticità, nell'apprendimento della sequenza motoria e della memoria, ma è impegnata nella immaginazione motoria e nelle trasformazioni spazio-temporali.

Altri studi neurofisiologici hanno dimostrato che diversi modelli neuronali nel M1 riflettono i diversi tipi di informazioni, quali gli obiettivi spaziali, in direzione del movimento della mano (Georgopoulos et al. 1989; Georgopoulos and Pellizzer 1995), la forza muscolare e l'obiettivo globale del compito (Scott and Kalaska, 1997; Kakei et al. 1999).

Mentre alcune cellule sono più sensibili alle variazioni alla direzione di movimento in funzione alla posizione attuale di un braccio nello spazio (Caminiti et al.1990), altri ricevono input sensoriali (Scott 1997).

Alcuni studi specifici relativi alla rotazione mentale hanno dimostrato un ruolo importante nelle trasformazioni visuomotorie (Georgopoulos et al.1989).

Recentemente, alcuni studi fMRI hanno mostrato quanto la M1 possa essere coinvolta nella mappatura dell'empatia (Lamm et al. 2007).

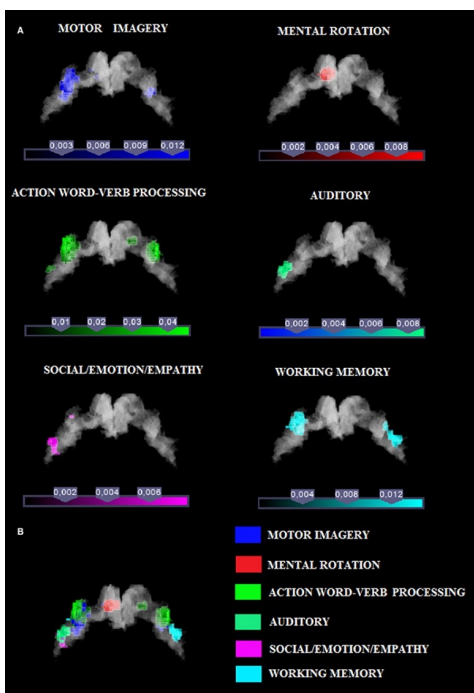
Non ultimo, l'attivazione dell'M1 è stata osservata durante l'elaborazione del linguaggio (Pulvermüller et al. 2001; Hauk et al. 2004; Pulvermüller 2005) inaspettatamente con l'aggiunta di una nuova dimensione linguistica a questa zona (de Lafuente & Romo 2004). È noto che M1 può essere diviso in due zone distinte e strutturalmente differenti, cioè Area 4a e Area 4p che differiscono nella loro citoarchitettura e neurochimica (Geyer et al. 1996). Area citoarchitettonica 4 bis (Geyer et al. 1996) è la parte rostrale della M1 e riceve più proiezioni cortico-corticale dalla zona sei rispetto alla zona più posteriore 4p che è più collegata con le aree somatosensoriali (Geyer et al. 1996). In relazione agli aspetti funzionali di questi sotto-aree, è stato suggerito che le due aree differiscono funzionalmente (Geyer et al. 1996). È stato dimostrato che un'area 4p è più attivata da movimenti guidati da informazioni somatosensoriali, mentre la superficie 4a è più attivata da movimenti attivati esternamente (Geyer et al. 1996), e che l'attivazione della zona 4p è stata modulata da attenzione all'azione, mentre 4a non lo era (Binkofski et al. 2002).



## RISULTATI

In tutte le analisi effettuate è stato riscontrato che le attivazioni per ognuna delle sei categorie sono state limitate ad una sottoparte della M1, suggerendo la presenza di uno spazio comune della M1.

Inoltre, è stato scoperto che alcune delle sei categorie sono attivate in M1 a livello bilaterale mentre altre hanno innescato l'attivazione della lateralizzazione destra o sinistra.



### A. Sociale / emozione / empatia associato alla regione anteriore della M1

Attivazione relativa a mansioni che coinvolgono il sociale, l'elaborazione dell'emozioni e le attività empatiche convergono su un cluster nella zona di sinistra 4°

L'analisi del ROI eseguita per frenare attivazione sulla M1 ha ulteriormente confermato che l'intera rete del cervello concernente questo campo si trova in questa meta-analisi e include l'attivazione motoria dell'amigdala di sinistra, del talamo sinistro, giro paraippocampale destro, o SMA, nella parte sinistra della SMA, (o area motoria supplementare localizzata sulla estensione mediale dell'area 6 verso la linea mediana dell'emisfero) parte sinistra del giro mediale superiore (Lamm et al. 2007).

#### B. Lavoro di memoria associato alla regione anteriore dell'M1

Le mansioni che coinvolgono il lavoro di memoria, come il compito n-back hanno attivato tre gruppi principali di sinistra e l'area 4a di destra.

L'elaborazione dell'attivazione del lavoro di memoria ha mostrato l'attivazione motoria nel giro postcentrale sinistro, la parte sinistra della SMA, quella a sinistra inferiore e superiore del lobo parietale destro, del giro destro angolare, dell'insula sinistra, del mezzo giro frontale, del giro frontale destro inferiore e centrale, e della parte sinistra del giro frontale centrale (Kaas et al. 2007).

#### C. Immaginazione motoria associata alla regione anteriore e posteriore dell'M1

L'attivazione relativa all'area dell'immaginazione motoria è stata riscontrata nella zona bilaterale 4a e 4p.

Inoltre, l'intera rete coinvolge l'attivazione del giro precentrale destro, la SMA sinistra, il putamen sinistro, il lobo inferiore della parietale sinistra, la parte sinistra del cervelletto, l'insula destra (Porro et al. 1996).

#### D. Rotazione mentale associata alla regione anteriore della M1

Sono stati riscontrati due gruppi di attivazione motoria nella zona 4a di sinistra.

La meta-analisi svolta in ogni parte del cervello ha rilevato che la rete di attivazione della rotazione mentale include il giro postcentrale di sinistra, il lobo parietale inferiore sinistro, il lobo parietale frontale superiore, il giro postcentrale di destra, la parte occipitale inferiore sinistra del giro, e il lobo paracentrale sinistro. (Kosslyn et al. 2001).

#### E. L'elaborazione del linguaggio associato alla regione anteriore e posteriore della M1

L'attivazione motoria dell'elaborazione linguistica di parole e di verbi è stata riscontrata nel cluster bilateralmente in zone 4a-4p.

Anche in questo caso la meta-analisi condotta ha rilevato l'attivazione motoria nel giro postcentrale di sinistra, nel lobo sinistro parietale inferiore, nel lobo parietale superiore, nel

giro postcentrale destro, nel giro occipitale inferiore sinistro, e nel lobo paracentrale sinistro. (Crepaldi et al. 2013).

#### F. Uditiva associata con la regione anteriore della M1

È stata riscontrata un'attivazione motoria nella zona 4° di sinistra. Come negli altri campi, la meta-analisi svolta su tutto il cervello ha rivelato una rete uditivo-correlata comprendente alla parte frontale della SMA, alla parte sinistra del giro temporale superiore, nel lobo insulare sinistro, nel giro temporale superiore destro, nel giro frontale inferiore destro, giro a sinistra sopramarginale, nel giro centrale temporale a sinistra (Brown & Martinez 2007).

### 4.3 La voce e le emozioni

La voce è uno strumento estremamente utile e potente in quanto capace e potente mezzo comunicativo e di espressione. Essa esprime le nostre emozioni con la sola tonalità, intensità e del ritmo che, nella classificazione delle caratteristiche paralinguistiche, costituiscono il sistema prosodico o soprasegmentale (Anolli & Cicceri, 1997). Ciò che noi percepiamo come tonalità è dato dalla frequenza fondamentale (F0), che è determinata dalla tensione e dalla vibrazione delle corde vocali e dell'intera laringe. Più esse sono tese, più la frequenza è alta e più la tonalità è acuta; al contrario, viene percepito un tono grave quando esse sono allentate. La tonalità viene misurata in Hertz.

Rispetto ai parametri temporali, vengono distinti la durata, consistente nella lunghezza dell'enunciato misurata in secondi, nella velocità di emissione, caratterizzata dal numero di sillabe pronunciate in un secondo, e dal ritmo consiste nella combinazione tra durata e accento ed è dato dall'alternarsi di sillabe accentate e sillabe non accentate.

Luigi Anolli e Rita Cicceri (1997), nel loro studio scientifico, fanno emergere chiaramente come anche la frase più neutra come "Non è possibile, non ora" può assumere sfumature differenti a seconda di come viene detta.

Nella loro indagine, la suddetta frase viene interpretata secondo diverse emozioni, a duecento persone viene richiesto di riconoscere quella caratterizzante.

Ebbene, il 65% del campione è riuscito ad individuare senza difficoltà ognuna delle emozioni. Tra tutte le più immediatamente riconoscibili sono state quelle negative: il 77% ha individuato la collera, il 73% la paura, il 70% la tristezza, mentre solo il 40% del campione è riuscito ad individuare la tenerezza.

Secondo la ricerca, i principali profili della voce che esprime le diverse emozioni possono essere distinte in:

- Collera: il tono usato è alto, l'intensità è forte, vi è un'assenza di pause perché la voce viene buttata fuori di colpo. La voce di colui che manifesta la collera è tesa e piena.
- Gioia: la voce è ampia, piena e con un'intensità elevata, abbastanza modulata, con un ritmo dai contorni arrotondati. La risonanza è bilanciata ed esprime proprio uno stato di benessere.
- Paura: è molto sottile, oltremodo tesa e tremolante, il tono è acuto. Esprime l'incapacità di far fronte alla minaccia.
- Tristezza: tono basso, intensità modesta, e con un ritmo lento. La voce è rilassata ma stretta, di chi è impotente, sopraffatto.

- Disprezzo: tra le caratteristiche tipiche vi è la segmentazione e la suddivisione delle sillabe nonostante il mantenimento di una velocità normale.

-Tenerzza: ampia, distesa, con angoli arrotondati e, in alcuni casi, musicale

Esiste una stretta correlazione tra situazione emotiva, stato di attivazione muscolare e modalità di funzionamento dell'apparato vocale.

Un esempio può essere determinato dalla riduzione del tono dell'umore, dalla stanchezza o anche più semplicemente dalla noia, la mancanza di motivazione: tutte queste emozioni generano una riduzione del tono muscolare i cui sintomi sono: ridotta forza adduttorica dei muscoli tiroaritenoidi, scarsi livelli di tensione longitudinale cordale, riduzione della frequenza di fonazione, rallentamento dell'eloquio e contenimento delle resistenze glottiche.

In controtendenza, stati di eccitazione, di sorpresa, o di attesa ansiosa, determinano un generale ipertonico muscolare con relativa sintomatologia: innalzamento della posizione laringea, allungamento delle corde relativo alla postura glottica, incremento delle forze adduttorie e irrigidimento del tratto vocale. La voce risulta schiarita e impoverita timbricamente, la respirazione è spesso troppo rapida e superficiale. Il soggetto si trova in un generale stato di ansia e di allerta.

Nella vita quotidiana si può percepire nitidamente quanto determinate situazioni emotive si possano riflettere sulla funzionalità dell'apparato fonatorio e in modo particolare sulla laringe.

Tra le emozioni, la rabbia può essere considerata quella che in modo più determinato esemplifica il ruolo dello sfintere laringeo nella resa delle emozioni.

È caratterizzata da una emissione vocale particolare, nella quale la modalità elastica di adduzione cordale tende a sfumarsi in favore di una chiusura glottica di tipo francamente sfinterico, più salda e duratura. Vi è un incremento del tono adduttorio della muscolatura intrinseca, cui si associa il reclutamento della faringe medio che va ulteriormente a inibire il flusso dell'aria vibrante in direzione dell'esterno.

L'aumento del tono dei muscoli tiroaritenoidi determina un notevole accorciamento delle corde, cui consegue incremento della loro massa.

Contemporaneamente l'attivazione degli interaritenoidi produce avvicinamento delle aritenoidi con conseguente completa chiusura glottica. L'aumento delle resistenze glottiche che accompagna questi due eventi genera un'importante riduzione frequenziale, gravata da perturbazioni di segnale, un cambiamento di timbro glottico e una ridotta dinamica di

intensità e frequenza. L'aggressività, inizialmente rivolta verso l'esterno, si traduce così in autoaggressione.

Il parlante ispira in modalità alto-medio toracica, spinge in avanti il mento e indietro e in alto il capo, attuando un'adduzione forzata con corde vocali allungate, tensione longitudinale aumentata, adduzione spesso incompleta, corde avvicinate alla linea mediana e vocal-tract irrigidito nel suo tratto medio.

La voce che ne risulta è penetrante, acuta, tesa o aspra e la qualità della comunicazione è tagliente, provoca una lacerazione, nell'orecchio prima, nell'animo dell'ascoltatore poi.

Altre emozioni reclutanti l'attività sfinterica laringea, sono la sorpresa e la paura le quali in entrambi i casi si accompagnano alla messa in atto di una subitanea chiusura glottica a seguito di una ripresa inspiratoria rapida e profonda.

Mentre nella paura la glottide arriva alla chiusura completa, nella sorpresa le corde vocali si posizionano abitualmente in paramediana e il mantice rimane espanso, senza una vera chiusura glottica, e l'adduzione completa collabora alla stabilizzazione del tronco, con la conseguente facilitazione della messa in atto di una resistenza ad un probabile attacco o della produzione di una reazione motoria a carico soprattutto dell'arto superiore, nella sorpresa l'inspirazione con sospensione a corde avvicinate, ma non completamente addotte, prepara a "dare un nome" a ciò che ha sorpreso e, in questo modo, attraverso l'attribuzione dell'oggetto a un campo semantico noto, a superare l'emozione stessa.

A differenza dei parametri di picco, di volume e temporali, che sono relativamente più facili da misurare e da controllare, le qualità vocali sono state finora poco esplorate in relazione alla comunicazione dei correlati emotivi, proprio a causa delle difficoltà metodologiche e concettuali che esse implicano (Scherer 1986).

Un interessante contributo giunge da uno studio (Gobl & Chasaide 2003) che ha indagato il ruolo delle qualità vocali (ad esempio la voce piena, la voce sottile, la voce ruvida) nel veicolare informazioni circa emozioni, umori e attitudini.

Gli autori ipotizzano che la frequenza e la qualità vocale contribuiscano in modo indipendente all'espressione degli stati affettivi: le qualità vocali hanno un ruolo di primo piano nel comunicare gli stati meno intensi come stati d'animo, umori e attitudini, soprattutto se privi di un correlato fisiologico, mentre la frequenza è fondamentale per l'espressione delle emozioni più intense, accompagnate da una componente a livello fisiologico (ibid.).

La possibilità che la frequenza e le qualità vocali abbiano funzioni differenti e potenzialmente indipendenti nell'espressione degli affetti è stata precedentemente suggerita anche

da Scherer (1986), il quale ha ipotizzato che le ampie variazioni dell'intonazione segnalino marcate differenze nei livelli di attivazione, e che invece le qualità vocali comunichino sottili sfumature affettive.

Scherer (1986) individua una relazione tra i parametri vocali delle singole emozioni e le componenti di valutazione cognitiva (appraisal) delle circostanze attivanti contemplate dal modello componenziale da lui stesso proposto. Tale modello individua cinque livelli di valutazione dello stimolo:

1 – controllo della novità

2 - controllo della piacevolezza o spiacevolezza intrinseca dello stimolo;

3 - controllo della rilevanza in relazione allo scopo e ai bisogni;

4 - controllo del potenziale di adattamento;

5 - controllo della compatibilità dell'evento con le regole e le norme sociali o con il Sé ideale ( ibid.)

L'attenzione di Scherer si è focalizzata sulle modificazioni espressive a livello facciale e vocale; la vocalizzazione delle emozioni negli animali fornisce una base di partenza per l'esplorazione dell'effetto dell'attivazione emotiva sul comportamento animale.

## **4.4 Controllo motorio faringeo**

Come ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, la comunicazione vocale umana presenta innumerevoli caratteri unici e distintivi che allo stato attuale non sono stati riscontrati in altri esseri viventi, quali ad esempio il controllo volontario del comportamento vocale, l'acquisizione di repertori vocali attraverso l'apprendimento imitativo, i canali paralleli di comunicazione vocale attraverso il parlato e canzone, la generazione della struttura fonologica attraverso meccanismi combinatoriali e la trasmissione culturale delle informazioni vocali (Arbib 2012; Christiner e Reiterer 2013; Gracco e Löfqvist 1994; Kuhl e Meltzoff, 1996; Merker et al. 2015; Patel 2003, 2008).

Vi sono due domande critiche sull'evoluzione della vocalizzazione negli esseri umani. Il primo è il modo in cui la corteccia motoria laringea dell'uomo si è evoluta da un precursore della corteccia motoria laringea (LMC) presumibilmente non vocale in specie ancestrali.

Il secondo è come gli esseri umani abbiano acquisito la capacità di apprendimento vocale da una specie ancestrale a cui mancava questa capacità.

### **4.4.1 Studi sulla LMC**

Il controllo volontario della laringe è mediato dalla corteccia motoria primaria nel gyrus precentrale del lobo frontale, che risale ad una proiezione corticobulbare discendente direttamente al nucleus ambiguus nella medulla, la quale di per sé invia i neuroni motori ai muscoli scheletrici della laringe attraverso la parte mielinizzata del nervo vagus che è stato implicato nella comunicazione sociale (Porges 2001).

La localizzazione della regione del controllo motorio della laringe è stata sempre tema di controversie per gran parte del XX secolo.

Foerster (1931) ha osservato che la stimolazione elettrica del gyrus subcentrale (e dell'adiacente opercolo rolandico) ha suscitato suoni, grugniti o gemiti, anche se non ha riferito di produzione di vocalizzazioni più complesse.

Lo studio di Penfield e di Boldrey (1937), atto ad analizzare l'omunculus della corteccia motoria primaria umana attraverso la stimolazione neurochirurgica di pazienti svegli, non ha localizzato una regione specifica di controllo della laringe.

Questo è dovuto al fatto che Penfield non ha registrato i muscoli laringali intrinseci durante le sue procedure, anche perché non era in grado di identificare una posizione specifica per la vocalizzazione rispetto alle funzioni orali correlate.



Egli ha assegnato la vocalizzazione ad un grosso strato della corteccia motoria orofacciale, anziché in una posizione unica nel modo che aveva fatto per gli altri fattori del corpo.

È solo intorno al XXI secolo, studi funzionali di risonanza magnetica (fMRI), che cambia la visione del funzionamento della laringe e si comprende meglio la localizzazione del LMC.

Nel 1990, la ricerca di immagini cerebrali ha cominciato a descrivere le reti coinvolte nel parlare e nel cantare (Turkeltaub et al. 2002.).

Poiché sia il discorso articolato che il cantato sono caratterizzati da sequenze di rapidi movimenti coordinati, i primi studi di neuroimaging non facevano distinzione tra movimenti fonatori e le componenti articolati del discorso.

Interesse per l'identificazione di un sistema corticale è emerso usando la combinazione del magnetismo a stimolazione transcranico (TMS) e dell'elettromiografia (EMG), sviluppata per la valutazione neurologica della funzione nervosa cranica (Thumfart et al. 1992).

A differenza dei precedenti studi neurochirurgici, che hanno usato la vocalizzazione come proxy per la muscolo-stimolazione della laringe, gli studi TMS / EMG sono stati in grado di rispecchiare direttamente le fissioni nei muscoli laringali intrinseci. TMS ha provocato l'elicitazione delle risposte motorie in due dei muscoli laringali intrinseci che contribuiscono direttamente al controllo del tono vocale, vale a dire il muscolo CT e il muscolo TA.

In un esperimento con fMRI, Loucks et al. (2007) hanno osservato che la vocalizzazione ha impegnato le stesse aree della corteccia motoria come la espirazione silenziosa, in posizioni coerenti con un precedente studio tomografico di emissione di positroni di espirazione (Ramsay et al., 1993, Simonyan et al., 2009, Kryshtopava et al. 2017).

Questo risultato ha suggerito che il controllo motorio dei muscoli laringei è altamente integrato con la forza motrice usata per la vocalizzazione, vale a dire l'espirazione.

Tale legame tra vocalizzazione ed espirazione, (ma non l'ispirazione) nella corteccia motoria umana è coerente con l'osservazione che vede la produzione orale dell'uomo evoluta quasi esclusivamente nell'espirazione (cioè è regressiva), con una produzione sonora inegnosamente rara (ad esempio, ansimare).

Ciò è in contrasto con la vocalizzazione di molti primati che si verificano bifasicamente sia con l'ispirazione che con l'espirazione (Geissmann 2000).

MacLarnon and Hewitt (1999; 2004) ha osservato che la colonna vertebrale toracica degli esseri umani, che contiene circuiti motori spinali principalmente usati per l'espirazione, è allometricamente allargata rispetto agli ominidi e ai primati moderni; cambiamento adatta-

tivo questo non solo per la respirazione ma anche per la vocalizzazione (MacLarnon e Hewitt, 2004).

Brown et al. (2007) hanno effettuato uno studio fMRI con il tentativo di identificare una posizione specifica somatotopica per la laringe nella corteccia motoria umana, distinta dalla rappresentazione dei muscoli articolanti, anche in considerazione delle incertezze dei risultati neurochirurgici di Penfield e dell'apparente sovrapposizione laringale e articolatori negli studi successivi in TMS. In particolare, hanno condotto un confronto diretto tra vocalizzazione e movimenti laringali non vocali.

Come riferimento somatotopico, i partecipanti hanno eseguito il movimento delle labbra e della lingua, poiché Penfield ha ottenuto localizzazioni molto più affidabili per questi effettori.

Importante, le interruzioni glottali e la vocalizzazione hanno portato ad attivazioni fortemente sovrapposte in una regione di corteccia motoria primaria che Louckset al. (2007) avevano precedentemente identificato come integrazione delle funzioni vocali e espiratori, portandole a duplicare l'area comune di attivazione come "area di laringe / fonazione".

Questa regione è stata trovata direttamente adiacente all'area del labbro somatotopico nella parte dorsale della corteccia motoria orofacciale. In altre parole, l'area per la fonazione è stata trovata vicina, ma distinta da, un'area per il controllo dell'articolazione.

Belyk e Brown (2014) hanno poi scoperto che questa stessa regione ha avuto una rappresentazione non solo della muscolatura intrinseca della laringe, ma anche della muscolatura estrinseca che muove verticalmente la laringe all'interno della via aerea, anche se la regione corporea più ventrale della corteccia motoria ha reso più forti contributo a tale movimento verticale. Questa osservazione negli esseri umani è simile alla rappresentazione dei muscoli laringali estrinseci nei pressi del LMC delle scimmie (Hast et al. 1974). La corteccia motoria laringea controlla quindi le tre principali dimensioni del movimento laringeo. Nel complesso, sembra che la riorganizzazione evolutiva della corteccia motoria umana ha portato le tre principali componenti della vocalizzazione - vale a dire la espirazione, la fonazione e l'articolazione - in prossimità l'una all'altra, forse creando ciò che alcuni teorici riferiscono come "small-world architecture" (Sporns 2006; Sporns e Zwi 2004), per cui le reti funzionano più efficacemente quando dispongono di abbondanza di connessioni a breve distanza, integrate da pochi collegamenti a lunga distanza.

#### 4.4.2 LMC nei primati

La ricerca sul LMC dei primati non umani, soprattutto macachi e scoiattoli, ha rivelato che la LMC non umana è diversa da quella dell'uomo sia per la sua posizione corticale che il grado di coinvolgimento nella vocalizzazione.

Innanzitutto, la LMC della scimmia non si trova nella corteccia motoria primaria (area 4) ma nella corteccia premotoria ventrale (area 6v), appena posteriore all'omologo della scimmia dell'area di Broca (Hast et al. 1974; Hast e Milojkvic 1966 , Jürgens 1974).

Il fatto che questo luogo premotorio della LMC sia presente in entrambe le principali linee di scimmie sia del Vecchio che del Nuovo Mondo, suggerisce fortemente che questo rappresenti lo stato ancestrale dei primati.

In secondo luogo, alcuni studi hanno dimostrato che, mentre la stimolazione della LMC nella scimmia provoca la contrazione dei muscoli laringei (Hast et al. 1974; Jürgens 1974), questa non produce alterazioni respiratorie necessarie per guidare la vocalizzazione (Walker and Green, 1938 ), come avviene negli esseri umani (Breshears et al. 2015; Penfield and Boldrey 1937).

Ancora più importante, la lesione sperimentale della LMC ha poco effetto sul comportamento vocale spontaneo (Kirzinger e Jürgens 1982), anche se studi di registrazione hanno osservato l'attivazione di neuroni LMC in preparazione per vocalizzazioni condizionate, ma non spontanee (Coudé et al. 2011; Hage and Nieder 2013). Nel complesso, mentre la LMC della scimmia appare chiaramente come una regione di controllo della laringe, questo non svolge un ruolo critico nella vocalizzazione.

Studi di lesioni di grandi scimmie sono cessati negli ultimi decenni a causa dello stato di estinzione di queste specie.

Tuttavia, i dati di numerosi studi preliminari suggeriscono che la LMC nelle grandi scimmie sia intermedia tra la scimmia e LMC umana sia nella posizione corticale che nel coinvolgimento della vocalizzazione.

Di gran lunga lo studio fisiologico più esteso è quello di Leyton e Sherrington (1917), che ha mappato le funzioni motorie corticali in tre specie di grandi scimmie (scimpanzé, gorilla e orangutango). Gli autori hanno osservato che una varietà di movimenti laringali, l'adduzione e l'abduzione, il movimento laringeo verticale attraverso l'impegno dei muscoli laringali estrinseci e l'emissione sonora, principalmente in forma di grugnito, potrebbero essere suscitati dalla stimolazione del bordo anteriore del gyrus precentrale ventrale.

Hines (1940) ha affermato di essere in grado di elicitare la vocalizzazione in uno dei tre scimpanzé attraverso la stimolazione elettrica di questa stessa area, anche se la natura di questa vocalizzazione non è stata descritta. Potenzialmente legata a una funzione vocale rudimentale della LMC negli scimpanzé, Kuypers (1958a) riportò l'esistenza di assoni corti-tibolari scarsetti dal gyrus precentrale ventrale che hanno fatto contatto diretto sul sinap-tico sui neuroni nel nucleo ambiguus. Il fenotipo vocale intermedio di grandi scimmie non umane suggerisce che la selezione per un maggiore controllo motorio vocale era già iniziata all'epoca dell'ultimo antenato comune della linea delle grandi scimmie, anche se questa capacità è stata evidentemente ulteriormente elaborata nel corso dell'evoluzione umana.

#### 4.4.3 Capacità di apprendimento vocale

Mentre la maggior parte degli animali hanno la capacità di vocalizzare, variano notevolmente nella loro capacità di apprendimento vocale, di cui esistono due tipi principali. L'apprendimento dell'uso di vocali (Janik and Slater 2000; Petkov e Jarvis 2012) si riferisce alla capacità di imparare quando produrre vocalizzazioni da un repertorio esistente, generalmente innato. Ad esempio, gli individui possono astenersi dal vocalizzare o possono vocalizzare ingannevolmente, a seconda della composizione sociale del loro pubblico (Fitch e Hauser 2002; Loh et al. 2016; Munn 1986; Townsend e Zuberbuhler 2009). Questa capacità è pervasiva tra i primati (Koda et al. 2007; Pierce 1985).

Al contrario, l'apprendimento della produzione vocale si riferisce alla capacità di aggiungere nuove vocalizzazioni a un repertorio, tipicamente attraverso l'imitazione vocale.

L'apprendimento della produzione vocale è abbastanza raro tra le specie animali.

Alcune grandi scimmie sono state segnalate in quanto capaci di produrre suoni nuovi dopo una prolungata esposizione agli esseri umani; questi suoni vengono usualmente prodotti in maniera non vocale, attraverso l'uso di sorgenti di suono come lo schiacciare del labbro o il fischiare (Bergman 2013; Hayes and Hayes 1951; Hopkins et al. 2007; Wich et al. 2009), piuttosto che attraverso la fonte sonora laringea che sottende la vocalizzazione umana.

Lo scimpanzé in cattività Viki, è riuscito a imparare movimenti articolari e respiratori per produrre alcune parole inglesi, ma non ha mai acquisito i corrispondenti movimenti laringali (Hayes and Hayes, 1951). Tuttavia, diversi studi di casi suggeriscono che le grandi scimmie possono avere un grado limitato del controllo sulla laringe.

Wich et al. (2012) ha osservato che alcuni tipi di chiamata erano presenti in alcuni gruppi di orangutano e assenti in altri, suggestivi di una limitata cultura vocale.

Lameira et al. (2015) riportarono la produzione di un nuovo suono laringeo in un orangutano prigioniero.

Il gorilla cattivo Koko è stato osservato per fare un nuovo suono vocale, anche se questo non è il suo più ampio repertorio di nuovi suoni senza voce (Perlman e Clark 2015). Considerati insieme, questi risultati dimostrano una capacità limitata per l'apprendimento vocale in grandi scimmie è al di là delle loro abilità, ma non si avvicina molto alle abilità degli infanti umani (Kuhl e Meltzoff 1996).

L'apprendimento della produzione vocale non è semplicemente una capacità motoria, ma è un meccanismo sensorimotorio che consente di trasformare un suono percepito in una

serie di comandi motori che possono riprodurre quel suono, come nell'accoppiamento di un suono sentito con la voce.

Non si possono creare ipotesi sull'imitazione vocale senza dover seriamente prendere in considerazione i meccanismi uditivi che consentono di cominciare a concepire un oggetto imitato. Mentre la connettività diretta del cortico-bulbare da M1 al nucleo ambiguus può essere una condizione necessaria per l'evoluzione dell'apprendimento vocale (Fitch et al. 2010). Una comprensione della base neurale dell'apprendimento vocale deve anche comportare una spiegazione dei meccanismi audiovocali che permettono all'udito di essere convertito nei comandi motori che riproducono vocalmente il suono percepito, ad esempio attraverso sistemi che mediano la memoria fonologica di lavoro (Arboitz 2012), tra altre capacità audiovocali. L'apprendimento imitativo è un processo sensomotorio e non solo motorio.

Un modello precoce di imitazione vocale negli esseri umani (Geschwind 1970), in gran parte derivato da osservazioni neurologiche, è stato predicato sul flusso di informazioni uditive dalle aree uditive del gyrus temporale superiore e posteriore (pSTG) alle aree di pianificazione motorie nell'IFG attraverso il fascicolo arcuato (AF), (Fernández-Miranda et al, 2015, e Glasser e Rilling, 2008). Poiché l'IFG non contiene i neuroni motori superiori che si avvicinano al sistema cerebrale o al midollo spinale, le informazioni devono quindi essere trasmesse alle aree vocali in M1 (come ad esempio la LMC) affinché si verifichi la produzione vocale. Questo modello è stato preso in considerazione per suggerire che il collegamento audiomotorio stabilito attraverso l'AF sia necessario e sufficiente per l'imitazione vocale (Bernal e Ardila, 2009). Le lesioni limitate all'AF scollegano efficacemente le aree uditive dall'IFG e possono condurre ad una condizione nota come afasia di conduzione, che è una sindrome paradossale in cui sia risparmiata la comprensione e la produzione della lingua, ma che i pazienti non sono in grado di ripetere (ossia imitare) (Geschwind 1970). In altre parole, i pazienti hanno una specifica compromissione nella traduzione sensoriale dei precettori uditivi nei comandi motori.

Sebbene sia stata una scarsa ricerca sulla base neurale dell'imitazione vocale o dell'apprendimento vocale nei mammiferi non umani (Arriaga e Jarvis 2013), queste abilità sono state oggetto di un'intensa ricerca nelle tre principali linee di uccelli vocali, cioè pappagalli, colibrì, e in particolare uccelli canterini (Nottebohm 1972; Petkov e Jarvis 2012).

Mentre gli uccelli canterini sono filogeneticamente più lontani dagli esseri umani rispetto ai primati non umani, le analisi comparative hanno dimostrato la somiglianza anatomica (Jar-

vis 2004) e la genetica molecolare (Pfenning et al. 2014) tra il "canto" aviario e il sistema audiovocale umano.

Il sistema del canto aviario è costituito da due percorsi interconnessi: un percorso discendente motorio vocale e un ciclo striatale del proencefalo (Jarvis et al. 2005). Entrambi i percorsi ricevono un input dall'HVC, che può essere correlato a un repertorio di uccelli di brani appresi (Nottebohm et al. 1976; Ward et al. 1998). A differenza del percorso motoristico discendente e del ciclo striatale del proencefalo, l'HVC non può corrispondere a nessuna struttura del cervello umano (Pfenning et al. 2014).

Il percorso discendente è costituito dal nucleo robusto dell'arcopallidum (RA), che è l'analogo proposto della LMC umana, sebbene l'organo vocale dell'uccello non sia la laringe, ma piuttosto la siringa, innervata da RA attraverso una proiezione diretta al nucleo ipoglosso, che in sé genera fibre motorie che innervano i muscoli del syrinx. Il ciclo striatale proencefalo è costituito da tre strutture: l'area X (l'analogo dello striato anteriore umano) il nucleo dorso-laterale del talamo mediale (DLM) e il nucleo laterale magnocellulare del nidopallium anteriore (LMAN).

Mentre le lesioni al percorso discendente motorio vocale perturbano la produzione di canzoni (Nottebohm et al. 1976), le lesioni al un ciclo striatale del proencefalo distruggono l'imitazione vocale e l'apprendimento delle canzoni, ma risparmiano la produzione di canzoni che sono già state lesse (Bottjer et al. 1984; Brainard 2004; Fee e Goldberg 2011; Sohrabji et al. 1990).

Le evidenze neurofisiologiche suggeriscono che i neuroni lungo il ciclo striatale del proencefalo computano modelli causali che mappano suoni bersaglio sui comandi motori che li riproducono (Giret et al. 2014).

#### **4.5 Circuiti cerebrali del controllo muscolo-masticatorio**

La masticazione è il risultato dell'interazione tra un pattern neurale ritmico intrinseco e feedback sensoriale derivanti dalla bocca, dai muscoli e dalle articolazioni.

Tale pattern, abbinato tanto alle caratteristiche fisiche del cibo quanto alla variazione dell'età cronologica, è generato da un assemblamento di neuroni chiamato Generatore di Pattern Centrale (CPG) e locato nel Tronco dell'encefalo comprendenti i circuiti del ponte e del midollo. Il CPG riceve inputs dai centri più alti del cervello specialmente dalla regione infero-laterale della corteccia sensori-motoria e dai recettori sensoriali.

I meccanorecettori nella lingua e nella mucosa orale, nei muscoli e nei legamenti periodontali attorno alle radici dei denti hanno effetti particolarmente forti sui parametri di movimento.

La riorganizzazione di subpopolazioni di neuroni all'interno del CPG sottostà ai cambiamenti nei pattern di movimento. Inoltre per controllare i motoneuroni che supportano la mandibola, la lingua e i muscoli facciali il CPG modula anche i circuiti riflessi.

Masticazione, deglutizione e respirazione coinvolgono reciprocamente il tratto superiore aerodigestivo, mentre i muscoli della mandibola, della faccia e della lingua partecipano a tutti e tre i comportamenti.

Non è sorprendente dunque che ci siano delle interazioni tra CPG che li controllano: tra masticazione e deglutizione e tra deglutizione e respirazione ma non tra masticazione e respirazione (McFarland, Lund 1995; McFarland, Lund, Gagner 1994).

Così come proposto da Lund e Kolta (2006), questi circuiti troncoencefalici, utilizzati nel controllo dei muscoli orofacciali, partecipano anche alla regolazione del linguaggio umano. L'articolazione linguistica usa molti dei muscoli che sono attivi durante i tre comportamenti. Nel caso della respirazione, il CPG agisce sotto il controllo dei circuiti di controllo motorio del linguaggio (Draper, Ladefoged, Whitteridge 1959; McFarland 2001). Mentre gli outputs dalle aree cerebro corticali possono essere in grado di controllare alcuni motoneuroni respiratori direttamente, una parte significativa del loro controllo sembra essere esercitata attraverso i CPG respiratori.

I movimenti della faccia dunque supportano una varietà di funzioni nel comportamento umano: partecipano a programmi motori automatici e viscerali, sono essenziali per produrre manifestazioni comunicative di stati emotivi e sono anche soggetti al controllo volontario. La molteplicità delle funzioni dei muscoli facciali, comparata con quella degli arti, è ri-



flessa nella eterogeneità delle loro caratteristiche anatomiche e istologiche che va ben oltre la classificazione convenzionale in muscoli singoli facciali.

Questa parcellizzazione nelle unità muscolari funzionali differenti è mantenuta attraverso la rappresentazione centrale dei movimenti facciali dal tronco cerebrale fino alla neocorteccia. I movimenti facciali peculiarmente mancano di un sistema di feedback propriocettivo convenzionale, che è solo in parte vicariato da nervi afferenti uditivi o cutanei. L'attività motoria facciale è il principale indicatore degli atti emotivi endogeni e della valenza emotiva degli stimoli esterni.

A livello corticale, un network complesso di aree motorie specializzate supportano i movimenti facciali volontari e differentemente dai movimenti degli arti superiori, in tale network non sembra essere un primo attore la corteccia motoria primaria (Cattaneo, Pavesi 2013:135).

#### **4.7 Tracce genetiche sullo sviluppo del linguaggio articolato**

Sebbene per decenni gli studi e le ricerche hanno compiuto grandi passi avanti soprattutto nell'identificarne le caratteristiche fisiologiche e anatomiche, è recente la possibilità di esaminare la base genetica del cervello evoluto.

Di recente, infatti, alcuni ricercatori svizzeri hanno isolato un gene chiave per l'evoluzione del cervello.

Forse, proprio quello che ha permesso all'uomo e alle scimmie di fare un salto in avanti rispetto agli altri mammiferi.

Il loro studio ha svelato quanto lo sviluppo di scimmie dotate di un cervello di maggiore complessità, cioè delle progenitrici dell'uomo e dei primati antropomorfi (scimpanzé, gorilla e orango) sia coinciso con la comparsa di un nuovo gene per l'enzima glutammato deidrogenasi, il 'Glud2'.

I dati hanno anche rivelato che l'enzima prodotto dal Glud2 funziona meglio di quello prodotto dal gene primitivo, il 'Glud1'. Poiché quest'enzima è necessario per la produzione del glutammato, uno dei neurotrasmettitori più importanti per il funzionamento cerebrale, i due autori Fabien Burki e Henrik Kaessmann suggeriscono che il Glud2 potrebbe essere stato determinante per l'aumento delle capacità cognitive.

Il beneficio derivante da queste mutazioni per la funzionalità cerebrale è confermato anche dal fatto che queste nuove caratteristiche del Glud2 sono state protette da ulteriori cambiamenti, conservandosi immutate durante l'evoluzione delle varie specie di primati e dell'uomo.

La teoria sull'estensione allometrica del cervello postula che la progressiva estensione allometrica del cervello della scimmia sia stata la base per l'allargamento encefalico nella stirpe umana.

Una ricerca recente ha confutato quanto sostenuto da questa teoria, dimostrando in effetti che l'encefalizzazione dell'*H. Sapiens* sia il risultato di cambiamenti evolutivi in tre aspetti della temporizzazione dello sviluppo.

Il primo è una moderata estensione della durata della crescita cerebrale rispetto ai nostri più stretti parenti pervenutici, contrariamente a quanto sostiene la teoria sopra citata secondo la quale nel cervello umano la crescita è notevolmente prolungata nella vita post-natale.

In secondo luogo, il genere umano ha sviluppato un cervello allometricamente derivato rispetto agli scimpanzé e ai primati.

Terzo, negli esseri umani (e in altri primati antropoide in grado minore) si può visualizzare un rallentamento postnatale significativo della crescita del corpo in confronto agli altri mammiferi, che influisce direttamente sull'encefalizzazione nella nostra specie.

Come specie, quella dell'*Homo sapiens* è marcatamente diversa rispetto altri mammiferi in diversi domini biologici, in particolare quello nervoso e riproduttivo, scheletrico e vocale.

Forse nessuno è tanto notevole quanto lo è il cervello, significativamente più grande e più complesso negli esseri umani rispetto a quello degli altri mammiferi (Jerison 1973), e che permette alla nostra specie di esibire il suo unico, ricco e altamente sofisticato repertorio comportamentale, che può essere rappresentato nello sviluppo del linguaggio articolato, nell'uso di strumenti e nella consapevolezza di sé (Spuhler 1959).

Dal punto di vista genetico, i più grandi e complessi cervelli umani devono derivare da specifiche proprietà funzionali dei geni, che sono alla base della biologia del cervello (Olson & Varki 2003; Carroll 2003).

Nonostante un interesse di lunga data sulla base di origine genetica dell'evoluzione cervello umano, e nonostante il successo della stessa genetica moderna nel sezionare la relazione tra geni e fenotipi, poco si sa su quali cambiamenti nella stirpe umana sono responsabili per il fenotipo cerebrale marcatamente alterata.

Per molti decenni, molti investigatori quali Jerison (1973) Noback & Montagna (1970) e Matsuzawa (2001), si sono concentrati sugli aspetti neuroanatomici, neurofisiologici e sulle differenze comportamentali tra gli esseri umani e altre specie, tralasciando ogni sforzo di trovare cambi molecolari responsabili di tali differenze.

Diverse le domande di base circa la genetica sull'evoluzione del cervello umano non sono state affrontate.

Per esempio, l'aumento delle dimensioni del cervello umano e complessità organizzativa coinvolgono le modificazioni funzionali di molti geni o solo un limitato numero di essi?

Queste modificazioni funzionali derivano da cambiamenti nell'espressione genica o sono una sequenza proteica?

Quanto sono importanti l'aumento o la perdita di geni rispetto alle modifiche funzionali di geni già esistenti ( Sandra et al. 2013:4)?

I recenti progressi nella genomica comparativa, nella genetica delle popolazioni e nella filogenesi molecolare, stanno cominciando ad offrire un barlume di speranza per affrontare questi e altre importanti domande circa la genetica umana inerente all'evoluzione del cervello.

In particolare, recenti studi hanno identificato i geni nel sistema nervoso che mostrano atipici patterns di evoluzione molecolare nei primati e che possono aver influito nello sviluppo del cervello umano (Jacobs et al. 1996; Evans et al. 2004).

# CAPITOLO V

## Studi sull'imitazione visiva e uditiva e sviluppo del linguaggio

### 5.1.1 Le teorie sull'imitazione: Grounded & embodied cognition

L'osservazione di un oggetto, il semplice reagire a uno stimolo, o calcolare una distanza ravvicinata, come si suol dire comunemente, "ad occhio", possono essere considerate azioni che svolgiamo quotidianamente; in effetti però ci soffermiamo molto poco a riflettere su come il nostro cervello lavori per rendere in termini pratici la percezione di tali stimoli.

Numerosi sono gli studi che tradizionalmente considerano in modo distinto e separato i campi della percezione, della cognizione linguistica e dell'azione. Una prospettiva del genere, conosciuta come cognitivismo classico, prevede che l'elaborazione del linguaggio avvenga attraverso la traduzione di stimoli elaborati percettivamente attraverso l'attività del sistema uditivo o visivo in simboli cognitivi amodali (Zwaan 2014).

Così come scrive Fodor (1983), i concetti stessi verrebbero organizzati in modo proporzionale, simbolico e poco o niente condividerebbero caratteristiche simili con i loro eventuali referenti materiali dimostrati attraverso gli organi di senso.

È recente l'interesse posto sugli studi sull'embodied cognition, termine troppo inclusivo e generalmente vincolato a elementi corporei e ambientali; il termine stesso "grounded" ha infatti un richiamo esplicito al terreno e non solo al corpo, riflettendo l'idea che i processi cognitivi siano soggetti a vincoli propri del mondo fisico che includono (Caruana, Borghi 2013).

La storia della grounded cognition conta oltre duemila anni, che da Epicuro, filosofo greco vissuto nel IV secolo a.C., arriva sino ai giorni nostri attraverso le rivisitazioni di altri filosofi come Locke, Hume e Kant.

Intorno alla prima metà degli anni '80 detta teoria inizia ad interessare gli studiosi di diverso genere e cognizione, dai filosofi, i primi a sottolineare l'importanza della ricerca in questo campo, ai linguisti, agli psicologi e ai neurologi. Anche la robotica ne è entusiasta e ne propone l'incorporazione dell'ambiente e del corpo in una nuova generazione di robot.

In particolare i linguisti e gli psicolinguisti hanno focalizzato la loro attenzione sul rapporto intercorso tra linguaggio ed esperienza sensoriale ed hanno cercato di dimostrare il ruolo centrale di questa relazione nella semantica e nella pragmatica di un testo (Bransford e Johnson 1973; Clark e Marshall 1981).

Recentemente la ricerca di psicologi e neurologi ha cercato di dimostrare come il cervello formuli le informazioni in un'ottica di grounded cognition: diversi psicologi cognitivi come Glenberg (1997), Zwaan (2004), Rubin (2006) e Barsalou stesso (2008) hanno scoperto che le variabili sensomotorie influenzino i diversi compiti associati con percezione, azione, memoria, conoscenza, linguaggio e pensiero.

Non ultima, la psicologia dello sviluppo con le teorie di Thelen e Smith (1994-2005) ha dimostrato che l'ambiente e il corpo rivestono un ruolo centrale nello sviluppo dell'intelligenza.

Il concetto di "grounded", che ne richiama già nel nome qualcosa di terreno, legato più al suolo, ha quindi un'applicazione decisamente più ampia rispetto a quello di cognizione embodied (Caruana, Borghi 2013).

Barsalou (2008) stesso preferisce il concetto di "grounded" a quello di "embodied", suggerendo che i processi cognitivi sono di per se "grounded" in modi multipli, poiché includono le simulazioni, l'azione situata e occasionalmente anche gli stati corporei. Infatti, l'idea che i processi cognitivi siano retti da processi di simulazione, durante i quali gli stati percettivi e motori acquisiti con l'esperienza, vengono riattivati al servizio della cognizione, è un'idea che non necessariamente richiede un'implementazione corporea, biologica.

In parziale contrasto con la visione del sopra citato concetto "grounded", vi è quella dell'"embodiment" (Goldman, de Vignemont 2009) con il suo rimando al corpo .

Esistono in effetti tre diverse interpretazioni possibili di "embodiment". Una, di netta matrice anatomica, secondo la quale le parti del corpo (e non il loro controllo cerebrale) giocano un ruolo causale nella cognizione in virtù delle loro caratteristiche anatomiche (Caruana, borghi 2013).

L' "embodied cognition" viene per la prima volta teorizzato da Larry Barsalou nel 1999, un tempo relativamente recente rispetto alle varie teorie sorte dopo la nascita della psicologia del linguaggio.

Barsalou si riferisce esattamente ad una vera e propria "teoria dei sistemi di simboli percettivi": i concetti sono rappresentati mentalmente come simulazioni percettive, ovvero come una riattivazione dei processi sensomotori con cui le caratteristiche dei concetti sono state inizialmente acquisite.

Dette simulazioni percettive verrebbero integrate fra loro grazie al lavoro delle aree neurali associative, per essere poi recuperate attraverso una simulazione.

L'embodied cognition è rappresentata tanto da una cognizione di matrice percettiva quanto da una di matrice motoria. Ambedue le matrici determinano gran parte dei processi cognitivi, sia che siano rivolti verso il mondo esterno sia che siano rivolti verso quello interno. Con la pubblicazione dell'articolo "Embodiment and Language comprehension: reframing the discussion", Zwaan (2014) identifica due visioni principali che riguardano la comprensione del linguaggio.

L'autore inizia dibattendo intorno a due correnti di pensiero sulla comprensione del linguaggio: coloro che ritengono che la comprensione del linguaggio includa l'utilizzo di simboli astratti e di coloro che pensano che la comprensione sia insita nella percezione e nell'azione. Zwaan azzarda l'ipotesi di una terza via che definisce "pluralista", poiché riunisce insieme simboli astratti e simboli grounded.

Successivamente cerca di analizzare e spiegare la differenza tra "cognizione simbolica" e cognizione "grounded", affermando che entrambe le idee si basano sul ruolo centrale della rappresentazione mentale della cognizione, ma che diversa è la loro natura.

Il migliore approccio, secondo Zwaan, è quello pluralista, che però non risolve i due problemi principali della comprensione: il grounding problem e lo scaling problem.

Il grounding problem riguarda più specificatamente la cognizione simbolica. È il problema di come i simboli sono mappati nel mondo reale.

La cognizione non può esistere come un insieme di simboli fluttuanti, senza che essi siano connessi alla percezione e all'azione (Zwaan 2014).

Durante l'esposizione su come e quanto sia importante lo sviluppo di quest'idea, egli identifica, attraverso l'analisi di diversi test ad esso inerite, due opinioni principali: alcuni scrittori pensano che la cognizione si limiti al coinvolgimento dei simboli grounded, altri, al contrario, credono che la rappresentazione simbolica inizi con il "lavoro" di attivazione del significato e di combinazione concettuale e che, allo stesso tempo, questi simboli attivino altre rappresentazioni grounded nelle aree sensomotorie del cervello (ibid.).

Lo scaling problem invece riguarda un'erronea incorporazione dei processi che associamo con la cognizione, come la comprensione del linguaggio, il ragionamento, la risoluzione dei problemi, l'attività decisionale. Per comprendere anche solo una singola frase c'è bisogno di costruire una "torre di astrazione", che non può essere fondata solo su concetti grounded (Zwaan 2014: 230).

Zwaan conclude affermando che abbiamo bisogno dell'astrazione per comprendere il linguaggio, ma si chiede anche se i simboli debbano essere necessariamente amodali e ar-

bitrari. In un certo senso le parole sono legate in modo non arbitrario ai referenti, anche se la base per l'apprendimento delle parole è l'incontro tra le parole concrete e l'oggetto o evento che denotano. Allo stesso modo le parole astratte, le quali spesso acquisiscono il loro "grounding" in un contesto emozionale. Il collegamento tra le parole e il loro referente avviene proprio nella memoria (ivi, pp. 230-231).

### **5.1.2 Disembodied cognition e bilinguismo**

Embodied, o disembodied cognition, produce una reazione diversa in coloro che parlano due o più lingue, questo grazie ad una distanza cognitiva ed emotiva più ampia dalla propria lingua madre.

È quello di cui parla Pavlenko (2012) presentando quelli che sono gli sviluppi della ricerca scientifica sull'apprendimento di più lingue straniere.

Egli si pone diversi interrogativi in merito ad un probabile disembodied cognition nei bilinguisti.

Imparare una nuova lingua implica l'integrazione di espressioni fonologiche, parole e frasi aventi informazioni uditive olfattive, tattili e visive.

Una L2, considerata cioè quasi una seconda lingua madre, viene appresa nella natura decontestualizzata della classe che non permette molte opportunità di integrazione delle modalità sensoriali, portando così allo sviluppo di una lingua "disembodied" (Pavlenko 2012:421).

Le ricerche effettuate, nonostante i loro limiti, permettono di poter creare un nuovo ambito di ricerca, il language embodiment. Inoltre, non ci si chiede soltanto quale lingua sia più emozionale, ma si aggiungono altre importanti domande riguardanti il contesto e l'età di acquisizione per comprendere al meglio come effettivamente avviene un processo emozionale.



### **5.1.3 Sistema mirror, embodied cognition e linguaggio**

La scoperta del sistema mirror introdotto da Rizzolatti, di cui ho ampiamente parlato nei capitoli precedenti, ha cambiato l'approccio psicologico a una molteplicità di campi come l'empatia, le emozioni, il linguaggio, l'arte (Caruana, Borghi 2013).

Come già specificato, Arbib (2013) presenta lo sviluppo della Mirror System Hypothesis (MSH). L'ipotesi riguarda l'approfondimento dello studio sui neuroni specchio e del sistema mirror: attraverso la comparazione tra macachi, altri primati e l'uomo si è approfondito lo studio tra l'attivazione dei meccanismi della corteccia cerebrale secondo stimoli visuomotori, anche durante movimenti effettuati da altri soggetti.

Si è analizzato e osservato come nell'uomo si attivi una zona nella corteccia cerebrale nei pressi o corrispondente all'area di Broca, associata alla produzione del linguaggio.

Il linguaggio umano sembra essersi quindi evoluto attraverso informazioni trasmesse testualmente, poi comprese e decodificate dal sistema mirror. Per arrivare al linguaggio, quindi, si passa dall'imitazione a un proto segno, comunicazione basata su gesti manuali, dal protosegno alla protoparola, un inizio di controllo del sistema vocale, fino alla comparsa del linguaggio, con la costruzione della frase complessa tramite strutture sintattiche e semantiche (ibid: 3-5).

La domanda che si pone Arbib è proprio se il linguaggio è embodied o no. La risposta non è di facile espressione. Se ci si limitasse solo al fatto che "The use of Language is a human ability; humans have bodies; therefore language is embodied" (ibid: 6), la risposta sarebbe ovvia e immediata.

La risposta risulta più complessa se la domanda fosse più specifica "tutto il linguaggio è embodied o lo è solo una parte?" Molti termini possiedono un doppio significato, concreto e astratto.

Arbib suggerisce di pensare all'embodiment come a un concetto classificato e non binario, senza connetterlo semplicemente a una modalità percettiva o motoria: il concetto di embodiment è necessariamente legato al corpo, anche se cambierà per ogni essere vivente. Arbib suggerisce quindi di collegare azione motoria e linguaggio e propone una nuova branca dell'embodied cognition, ossia l'embodied imagination (ibid: 6-8).

Per lo studioso è però importante estendere e correggere la MSH insieme a una neuroprimatologia comparativa, anche se è necessaria ancora tantissima ricerca riguardo a come solo il cervello umano sia capace di trasformare un'imitazione, anche complessa,

dal livello pragmatico al livello comunicativo, di formare parole e di collegarle a concetti astratti (ibid: 12).

L'h cognition ha permesso di approfondire studi sull'esperienza corporea, sulla differenza tra "sense of agency e sense of ownership". Si è giunti a una nuova concezione di "sé corporeo", concetto al limite tra neuroscienze e fenomenologia che ha aperto nuovi spazi nella ricerca su disturbi psichici come la schizofrenia (Caruana, Borghi 2013).

Tanto il neurofisiologo Vittorio Gallese quanto il linguista George Lakoff hanno proposto che il sistema concettuale e linguistico umano potrebbero proprio aver avuto origine dal funzionamento di sistemi neurali associati alla simulazione sensori-motoria (Gallese, Lakoff 2005).

Il motivo è molto semplice: la natura multimodale dei neuroni specchio li pone quali migliori candidati per l'attivazione automatica di una simulazione sensori-motoria durante la percezione linguistica (Lakoff, Johnson 1999).

Sebbene i sostrati neurali sensori-motori associati alla simulazione durante osservazione diretta delle azioni (neuroni specchio) e quelli attivati dal riferimento indiretto alle azioni (linguistico o concettuale) non siano necessariamente coincidenti (Fernandino, Iacoboni 2010), queste scoperte suggeriscono che l'attività del sistema motorio (come anche di quello sensoriale) non sia disgiunta dalle rappresentazioni cognitive di istanze sensori-motorie.

## 5.2 Negazione linguistica e controllo motorio

Studi recenti hanno puntato l'attenzione sulla negazione linguistica e su come quest'ultima possa intervenire nel processo simulativo (Kaup, Lüdtkke & Zwaan 2005).

Indagini di neuro-immagine funzionale sono riuscite a mostrare importanti indizi sulle strutture neurali attivate quando comprendiamo una frase che descrive uno stato di cose negativo. Marco Tettamanti et al. (2005) hanno sottoposto diciassette soggetti sani, usanti mano destra, nativi italiani ad un esperimento di risonanza magnetica funzionale (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI) in cui essi dovevano leggere delle frasi descrittive azioni performanti con la bocca ( mordo la mela “; “I bite an apple”) con le mani (“Afferro il coltello”; “I grasp a knife” ) e con i piedi (e.g., “Calcio il pallone”; “I kick the ball”); nel contempo dovevano ascoltare anche frasi con contenuto astratto (e.g., “Apprezzo la sincerità”; “I appreciate sincerity”), riferite in prima persona sia in forma positiva o negativa (“non afferro il coltello”, “non apprezzo la sincerità”) ( Tettamanti et al. 2005: 274).

Gli autori di questo studio hanno osservato che durante la lettura delle frasi a contenuto motorio, vi era una maggiore attivazione della rete fronto-parietale coinvolta nella simulazione dell'azione (Tettamanti et al. 2005) nel caso in cui la frase era in forma positiva rispetto alla forma negativa.

In un altro studio, Tomasino, Weiss e Fink (2010) hanno sottoposto alcuni soggetti a un compito di decisione lessicale. Ad essi veniva richiesto di stabilire se le parole presentate fossero o no dotate di senso.

Le parole potevano essere verbi con connotazione di azione (es: “muoviti”) o sia di imperativo ad azione positiva o negativa (“non muoverti”).

Questi autori hanno mostrato che l'attività della corteccia motoria primaria e premotoria dei soggetti era maggiore quando essi dovevano prendere una decisione riguardo un verbo motorio in forma positiva rispetto a quando il verbo era in forma negativa. Rispetto all'esperimento di Tettamanti e colleghi (2008), l'esperimento di Tomasino e colleghi aggiunge un compito in cui i partecipanti devono effettivamente elaborare la frase per poter prendere la decisione corretta sulla sua sensatezza (Liuzzi et al. 2013:131).

Infine, mentre nello studio di Tettamanti e colleghi le analisi venivano eseguite sul cervello nella sua interezza, qui gli autori definiscono a priori delle aree di interesse su cui confrontare l'attivazione indotta dalle diverse condizioni sperimentali, ma nulla si sa su ciò che accade in altre regioni dei circuiti fronto-parietali su cui dovrebbe fondarsi la simulazione motoria (ibid:132).

Il quadro presentato dai risultati dello studio di Tommasino, infatti, mostra che la negazione riduce l'attivazione del sistema motorio durante l'elaborazione del significato di frasi motorie.

Una teoria simulatoria opposta è quella fornita da Pulvermüller (2005), il quale propone un'interpretazione basata su un meccanismo di apprendimento associativo.

Pulvermüller ritiene che la co-attivazione di aree motorie durante la comprensione di parole a contenuto motorio sia dovuta alla co-occorrenza, sin dalla nostra infanzia, di queste parole con le azioni corrispondenti.

Se la causa dell'attivazione delle regioni sensori-motorie durante la lettura o l'ascolto di frasi di movimento corporeo fosse frutto esclusivamente dell'associazione verbo-movimento, poiché la negazione di un verbo di movimento non annulla questa co-attivazione, essa dovrebbe aver luogo comunque durante la lettura (o l'ascolto) di frasi di movimento negate e dovrebbe riflettersi in un incremento dell'attività di regioni motorie (Liuzzi et al. 2013:143-4).

Al contrario, invece, la minore attivazione dei circuiti coinvolti nella simulazione sensori-motoria (trovata sia dallo studio di Tettamanti e colleghi che da quello di Tommasino e colleghi) suggerisce che la simulazione non avvenga parola per parola, ma che essa sia più probabilmente attivata dall'elaborazione della frase nella sua interezza.

### **5.3 Sviluppo dei sistemi di elaborazione del viso e del linguaggio**

Fin dalla nascita, l'elaborazione del viso e del linguaggio è fondamentale per stabilire una vera comunicazione sociale. Studi sullo sviluppo di sistemi di elaborazione dei visi e di linguaggio hanno reso simili somiglianze con la riduzione percettiva in entrambi i domini.

Come Teorizzato da Pascalis et al. (2014) durante l'evoluzione e lo sviluppo umano, la comunicazione sociale ha impegnato diversi sistemi percettivi e cognitivi: viso, espressione facciale, gesto, vocalizzazione, suono e lingua orale emersi in momenti diversi. Questi sistemi sono interattivi e legati in una certa misura. In questo contesto, il restringimento può essere considerato come un modo per adattarsi ai propri figli nativi.

A seconda delle specie studiate, la comunicazione avviene attraverso la vocalizzazione, il linguaggio, i volti e le loro espressioni, o ancor meglio, attraverso una combinazione di queste.

Le similarità osservate in tutte le specie, possono fornire approfondimenti sulla relazione tra diversi strumenti e reti di comunicazione sociale.

Nell'uomo, i volti e il linguaggio sono essenziali per la comunicazione, ma sono stati studiati tradizionalmente come aree separate con poca interazione tra i due domini, anche quando i loro legami sono riconosciuti (Pascalis et al. 2014: 65).

In alcuni casi, sono stati persino concepiti come moduli cognitivi indipendenti.

Se i volti forniscono un primo canale di comunicazione per i neonati prima di comprendere il linguaggio gestuale o orale, l'esposizione postnatale alla combinazione di voce e viso della madre è necessaria per riconoscere il volto della madre stessa (Sai 2005).

In uno studio, i volti in movimento sono stati riconosciuti solo quando il suono era presente (Coulon, Guellai, & Streri 2011). Pertanto, l'elaborazione del viso sembra essere facilitata dall'elaborazione vocale, anche in età precoce.

Più tardi, durante prima infanzia, la maggior parte delle conversazioni si svolgono faccia a faccia.

Anche se le informazioni uditive da soli sono sufficienti per comprendere il discorso, ci affidiamo sistematicamente e inconsapevolmente alle informazioni visive fornite dal volto di un parlante.

Vedere i gesti oro-facciali del parlante, accelera il riconoscimento delle parole fondamentali (Fort et al. 2012) e aumenta l'intelligibilità negli ambienti rumorosi (Benoît, Mohamadi, & Kandel 1994). Di conseguenza, la maggior parte delle conversazioni umane, ad eccezione di quando siamo sul telefono, invoca l'analisi delle configurazioni facciali per individuare

segnali rilevanti per decodificare il linguaggio. Così, l'integrazione delle informazioni audiovisive è fondamentale per la percezione del linguaggio (Pascalis et al. 2014:65).

Gli adulti umani possono riconoscere facilmente i volti familiari e si dice che trattino i volti in modo esperto. I volti formano una categoria di stimoli omogenei in termini di posizionamento dei loro elementi interni e gli esseri umani hanno sviluppato un modo per discriminare le loro informazioni basate su informazioni configurabili (cioè relazionali), come la distanza tra gli occhi o tra le labbra e mento (Pascalis et al. 2014 :66).

L'esperienza probabilmente svolge un ruolo fondamentale nell'acquisire le competenze del viso (Lee, Anzures, Quinn, Pascalis, & Slater 2011 ).

La lingua è uno strumento fondamentale per la comunicazione sociale perché consente di trasmettere informazioni complesse che le espressioni facciali non possono. È una abilità cognitiva complessa che richiede la ricorsione e lo spostamento (Chomsky 1965), ma i bambini lo acquistano rapidamente e senza istruzione, mentre la maggior parte degli adulti trova l'apprendimento di una seconda lingua impegnativa. Gli studi sull'acquisizione linguistica hanno scoperto pietre miliari cruciali: le vocalizzazioni sono osservabili alla nascita, il brivido emerge a circa 6-8 mesi, i bambini esprimono le loro prime parole a 10-12 mesi e cominciano a fare combinazioni di parole e formano proto-frasi a circa 20-24 mesi (Vihman 1996).

Gli studi sullo sviluppo dei sistemi che trattano i volti e la lingua hanno identificato somiglianze tra i due. L'elaborazione del viso si sviluppa durante i primi anni di vita da un ampio sistema non specifico ad un processore a faccia sintonizzato dall'uomo (Nelson 2001). Facce osservate nella forma dell'ambiente visivo dei bambini influenzano il sistema di visione in via di sviluppo attraverso un processo noto come restringimento percettivo: una progressione in cui i neonati mantengono la capacità di discriminare gli stimoli a cui sono esposti, ma perdono la capacità di discriminare gli stimoli a cui non sono esposti (Pascalis et al. 2014:67). Questo corso di risposta è simile per lo sviluppo della lingua. Nel primo anno, la capacità discriminatoria iniziale che riflette una sensibilità universale ai suoni di tutti i linguaggi umani si riduce come conseguenza dell'esposizione prevalente alla propria lingua materna e alla scarsa esposizione alle altre lingue (Werker & Tees 1999). Durante questo periodo, i neonati si sintonizzano nella loro lingua madre e la distribuzione di informazioni fonetiche nel linguaggio ambientale a scapito dei contrasti non discriminatori. In altre parole, i neonati diventano esperti nell'elaborazione di volti e di suoni nativi con esperienza.

Un argomento per il legame tra lo sviluppo del trattamento del viso e della lingua deriva dalla neuroanatomia. Il solco temporale superiore (STS) è associato all'elaborazione del viso e alla rappresentazione uditiva dei componenti vocali (Démonet, Thierry & Cardebat 2005; Haxby, Hoffman & Gobbini 2000). La parte posteriore dello STS può essere considerata una zona di convergenza amodica che svolge un ruolo chiave nell'integrazione di informazioni visuo-uditive (Belin, Bestelmeyer, Latinus e Watson 2011). Questi risultati suggeriscono circuiti simili, interattivi e comuni del cervello per la trasformazione di volti e di discorso.

Le descrizioni del restringimento percettivo non riescono a considerare l'evoluzione e la tempistica di quando l'elaborazione del viso e della lingua è emersa. Quello che guida o motiva lo sviluppo di elaborazione sia del volto che della lingua è la necessità di comunicare.

### **5.3.1 Comunicazione gestuale e orale**

Il linguaggio umano è descritto come univoco anche se esiste una qualche forma di comunicazione in altre specie. Comprendere l'emergere del linguaggio durante l'evoluzione è una sfida, in quanto le prove fossili non forniscono una grande conoscenza della lingua orale. Due mezzi di comunicazione sono considerati potenziali precursori per le vocalizzazioni e gesti vocali umani, anche se è discutibile se il linguaggio sia originato da gesti manuali o si sia evoluto esclusivamente nel dominio vocale. L'ipotesi precedente lo considera come mezzo di comunicazione iniziale, che successivamente si è sviluppato in un linguaggio gestuale. Il linguaggio può essere evoluto da gesti manuali per poi incorporare gradualmente elementi vocali, in modo che la lingua coinvolga reciprocità nelle azioni dei partner (Corballis 2003). Il meccanismo potrebbe essere supportato da neuroni a specchio, situati nell'area di Broca nell'uomo (Buccino et al. 2001). Questa zona è coinvolta con vocalizzazione e azione manuale e potrebbe essere stata usata come substrato neurale per la comunicazione interspecifica e quindi per elaborare il discorso (Pascalis et al. 2014:67).

Inoltre, i gesti, e più in particolare l'indicazione, sono strettamente associati allo sviluppo linguistico (Kita 2003).

L'indicazione oculare (o lo sguardo deittico a 6-9 mesi) e il gesto comunicativo più tardi (gesto deittico a 9-11 mesi) sono fasi chiave dello sviluppo cognitivo e sono correlate con le fasi dello sviluppo del linguaggio. Il puntamento delle dita è associato all'apprendimento di nuove forme di parola e ai loro significati associati e, accompagnato dalla produzione di parole (a 16-20 mesi), favorisce l'emergere di frasi. Nelle fasi successive, i bambini iniziano con indicazioni prosodiche (Ménard, Lèvenbruck, & Savariaux 2006) e costruzioni che coinvolgono un pronome deittico (Diessel & Tomasello 2000).

Diverse modalità di puntamento possono condividere una rete cerebrale comune: indicazione oculare, e indicazione prosodica sono associati con l'attivazione parietale sinistra (Lèvenbruck, Dohen, & Vilain 2009). Questi risultati suggeriscono un legame tra gesto e lingua (Pascal et al. 2014:68).

Tuttavia, le proprietà referenziali e combinatorie della comunicazione vocale dei primati suggeriscono che il linguaggio è anche radicato nella vocalizzazione (Arnold & Zuberbühler 2008): gli scimpanzé producono e comprendono segnali funzionalmente referenziali, come un segnale d'allarme per un serpente e le scimmie possono combinare segnali esistenti in sequenze significative di ordine superiore.



Secondo Pascal et al. (2014), i collegamenti funzionali tra la comunicazione gestuale e quella orale osservati nei primati non umani e nei neonati suggeriscono che la comunicazione sia un sistema multimodale che coinvolge gesti manuali, visuo-facciali e vocalizzazioni. La comunicazione umana può essere passata a una lingua dominante orale per diversi motivi, inclusa l'accessibilità senza vedere l'altra persona (ad esempio di notte o da una distanza) e l'accessibilità facendo qualcos'altro (ad esempio trasportando o utilizzando strumenti) (Corballis 2003). Gli esseri umani avrebbero usato gradualmente la regione orofacciale più che la mano nella comunicazione.

Chiaramente esistono diversi tipi di comunicazione prima della lingua orale, incluse vocalizzazioni, espressioni facciali e gesti visuo-facciali. Questi risultati evidenziano forti legami filogenetici e ontogenetici tra l'elaborazione del viso e la lingua.

### **5.3.3 Domini che coinvolgono il linguaggio sociale**

Anche se i bimbi di 6 mesi riconoscono diverse razze di volti umani e diversi volti di scimmia, quelli dai 9 ai 10 mesi riconoscono in modo affidabile solo i volti della propria specie e della propria razza. La comunicazione sociale si basa sulla nostra capacità di elaborare informazioni che ci permettono di identificare persone con cui interagiamo, quali l'identità, l'età e il sesso. La specializzazione per i volti della nostra specie migliora la nostra capacità di estrarre tali informazioni. Per quanto riguarda il riconoscimento vocale, i bambini di 7 mesi hanno rilevato cambiamenti nella voce solo quando il discorso era nella loro lingua nativa (Johnson, Westrek, Nazzi & Cutler 2011), suggerendo che il riconoscimento vocale si sviluppi in linea con l'aumento della competenza nell'elaborazione linguistica. Tuttavia, l'abilità dei più piccoli non è ancora stata segnalata e quindi non possiamo concludere che si sia verificato un rallentamento in questo settore.

Oltre a riconoscere i volti, i neonati imparano anche a riconoscere le espressioni facciali, che alimentano ulteriormente le proprie capacità di comunicare socialmente (Quinn et al. 2011). E' stato trovato un restringimento percettivo per riconoscere le emozioni nei neonati di 9 mesi ma solo per i volti della propria razza (Vogel, Sonesson & Scott 2012), suggerendo che il restringimento percettivo colpisce stimoli importanti per la comunicazione con i conspecifici (Pascalis et al. 2014:67).

Alla fine del primo anno di vita, la reattività agli input audiovisivi non originali si riduce sia in corrispondenza di altre specie che in lingue non native (Lewkowicz & Ghazanfar 2009 ; Pons, Lewkowicz, Soto-Faraco e Sebastián-Gallés 2009). In uno studio che ha usato clip video silenziose di un parlante bilingue che racconta una storia in due lingue, i monolingui di 4 e 6 mesi discriminavano visivamente tra le due lingue, mentre i monolingui di 8 mesi non avevano le capacità (Weikum et al. 2007). Il legame tra la visione e l'elaborazione della lingua è anche illustrato dalla ricerca in cui i bambini hanno osservato e ascoltato una femmina che parlava la propria lingua madre o un linguaggio non linguistico. I quattro mesi di età guardarono più agli occhi, i 6 mesi guardarono ugualmente agli occhi e alla bocca e per 8 mesi i neonati spostarono la loro attenzione sulla bocca, indipendentemente dalla lingua parlata. Questi risultati suggeriscono che i neonati cominciano a concentrarsi sulla bocca di un talker proprio quando iniziano a balbettare (Lewkowicz & Hansen-Tift 2012). Al contrario, i 12 mesi non si sono più concentrati sulla bocca quando esposti al discorso nativo, ma hanno continuato a guardare più la bocca quando esposti a discorsi non nativi (Kubicek et al. 2013 ; Lewkowicz & Hansen-Tift 2012 ).

La musica è importante per la comunicazione e può essere coinvolta nel confortare, nel corteggiamento, nel coordinamento dei movimenti e nella coesione sociale (Brown 2003 ). Richiede competenze sociali, come l'imitazione vocale/gestuale, e coinvolge la trasmissione culturale. Può anche essere considerata una forma di comunicazione orale che è emersa prima del linguaggio (Fitch 2006). Se si verifica una restrizione per qualsiasi forma di comunicazione, dovrebbe anche verificarsi per la musica.( Pascalis et al. 2014:66) Infatti, in uno studio, i bambini di 6 mesi erano in grado di discriminare i ritmi specifici della loro cultura e di quelli non conosciuti; Tuttavia, i 12 mesi avrebbero potuto farlo solo con un ritmo specifico della loro cultura (Hannon & Trehub 2005). Inoltre, l'esposizione anticipata e attiva ai ritmi e alle tonalità musicali specifici della cultura può accelerare il restringimento percettivo nella musica (Trainor, Marie, Gerry, Whiskin, & Unrau 2012 ).

### **Discorso uditivo**

La percezione del discorso dei neonati viene sintonizzata verso la propria lingua nativa a circa 10-12 mesi. I giovani neonati discriminano le differenze fonetiche, come le differenze nel tempo di insorgenza vocale, tra consonanti come /pa/ e /ba/ (Eimas, Siqueland, Jusczyk, & Vigorito 1971). I neonati sono anche in grado di discriminare le vocali (ad esempio, tra /a/ e /i/o/i/ e /u/) (Trehub 1973).

Non solo i neonati di 6-8 mesi discriminano categoricamente i contrasti fonetici nativi, ma possono anche discriminare quelli che escono dalla loro lingua madre. Ad esempio, i neonati dai 6 agli 8 mesi che apprendono l'inglese possono discriminare i contrasti non dentali, dentali e retroflessi quali l'Hindi / Ta / versus / ta / (Werker & Tees 1999). Tuttavia, una diminuzione della percezione della consonante in lingua transfrontaliera avviene a 10-12 mesi. I bambini più piccoli possono discriminare molte differenze fonetiche, mentre i bambini più grandi perdono questa capacità per contrasti che escono dalla loro lingua madre. Di conseguenza, la discriminazione fonetica inizia come linguaggio generale ma si riduce gradualmente, mostrando sintonia specifica del linguaggio (Pascalis et al. 2014:68).

## Linguaggio dei segni

È stato osservato anche un rallentamento della percezione della lingua dei segni (Palmer, Fais, Golinkoff & Werker 2012 ).

I neonati uditivi sono in grado di discriminare i segni di segno americano (ASL) a 4 mesi ma non a 14 mesi, mentre i neonati che apprendono ASL sono ancora in grado di discriminare i segni all'età successiva. Questo risultato suggerisce che il restringimento accade per la lingua indipendentemente dal fatto che il supporto sia gestuale o orale (Pascalis et al. 2014: 68).

Quello che Pascalis e colleghi ritengono è che il restringimento percettivo dovrebbe essere osservato per tutte le forme di comunicazione sociale. Durante l'evoluzione, la nostra comunicazione sociale usava diversi sistemi percettivi e cognitivi: viso, espressione del viso, gesto, vocalizzazione, suono e lingua orale emersa in momenti diversi. Questi sistemi sono interattivi negli adulti e i loro meccanismi neurali sono legati in una certa misura. Il loro sviluppo presenta somiglianze come i neonati si adattano al loro gruppo sociale.

Si suggerisce che l'adattamento si realizza attraverso un meccanismo specifico dedicato alla cognizione sociale, che comprende le diverse modalità di comunicazione, tra cui l'elaborazione di gesti manuali e visuo-facciali, nonché le capacità di elaborazione vocale. Tuttavia, non siamo autorizzati a sapere se un simile meccanismo fa parte della dotazione fondamentale presente alla nascita o è un prodotto di una crescente specializzazione che si verifica durante l'ontogenesi. Gli studi comportamentali e neuroimaging dovrebbero esaminare l'intreccio dello sviluppo di queste abilità sociali.

Il loro suggerimento riguarda anche il campo di disturbi neurologici o di sviluppo: prevede che i disavanzi nello sviluppo di elaborazione manuale di gesti, nella elaborazione di gesti facciali o nell'elaborazione vocale dovrebbero causare disturbi della comunicazione sociale. Questa previsione è supportata dal lavoro sui disturbi dello spettro dell'autismo che suggerisce che la comunicazione sociale si basa fortemente sul sano sviluppo di queste diverse abilità (Adolphs, Sears & Piven 2001; Baron-Cohen 1989).

Sebbene sia necessario un ulteriore lavoro per comprendere questo processo di adattamento multimodale, il nostro conto è che l'interazione di sistemi che elaborano facce e linguaggio nello sviluppo della comunicazione sociale sottende le occorrenze di restringimento percettivo in diversi domini.

## Conclusioni

L'idea di intraprendere un'indagine esplorativa sui meccanismi impliciti coinvolti nell'elaborazione dell'informazione del discorso articolato, nasce da un percorso di ricerca condotto, a partire dal 2015, nell'ambito dello studio dello sviluppo e dell'evoluzione del linguaggio.

L'ipotesi di partenza del presente lavoro, era quella dimostrare come il controllo motorio del discorso articolato possa essere connesso evolutivamente ai movimenti masticatori, ovvero in che maniera la rifunzionalizzazione dell'apparato masticatorio abbia influenzato lo sviluppo e la formazione della capacità linguistica presentando tratti di condivisione con altre specie animali, e, contemporaneamente, tratti specie-specifici del sapiens.

Nel genere umano, i cambiamenti evolutivi del volto e del neurocranio sono caratterizzate da adattamenti, conseguenze secondarie, e da fattori stocastici che concorrono a generare una serie di possibilità anatomiche e di vincoli.

Ci sono prove che l'evoluzione nell' Homo erectus sia stata parzialmente indotta da una distrofia muscolare causata dalla mutazione di un gene, che ha incrementato la capacità del cervello e ha portato al bipedismo. studiosi attribuiscono questo fenomeno quale conseguenza della modificazione alimentare. Recenti studi hanno dimostrato che la gracilizzazione nel sapiens sia stata la conseguenza dell'inattivazione di un gene che codifica per la miosina una proteina che produce la forza contrattile dei muscoli (Stedman et al. 2004).

Altre prove archeologiche supportano il fatto che l'apparato masticatorio abbia influenzato la distribuzione delle tensioni (stress) meccaniche nel cranio degli ominidi e di conseguenza ha cambiato la morfologia e la funzione craniofacciale. Anche dopo l'evoluzione H. erectus, l'alternanza nelle proprietà del cibo dalla civilizzazione e preferenze culturali hanno causato modifiche nei pattern masticatori e di conseguenza nelle strutture craniofacciali.

Poiché ci sono prove che l'apparato masticatorio umano e preumano sia stato influenzato dalla morfologia e funzione craniofacciale e dell'intero corpo, questo apparato a turno potrebbe influenzare l'intera omeostasi del corpo. Meccanismi plausibili di influenza reciproca dell'apparato masticatorio sull'omeostasi dell'intero corpo potrebbero essere 1) influenza meccanica diretta sulla struttura craniofacciale,

L'ipotesi del presente studio è che la morfologia e la funzione dell'apparato masticatorio influenzi l'omeostasi dell'intero corpo e queste interazioni sono reciproche.

Le ricerche da me condotte hanno approfondito, in primo luogo, l'attivazione muscolo scheletrico motorio dell'apparato respiratorio, vocale e articolatorio.

Grande rilevanza ho poi dato alla dentatura; i denti infatti svolgono, insieme ai muscoli della masticazione ed alle secrezioni ghiandolari salivari che sboccano nella cavità orale, la complessa funzione masticatoria ed in parte quella fonatoria, partecipando all'articolazione delle parole; inoltre costituiscono una componente non secondaria dell'estetica del volto, definita funzione fisiognomica. Essi, come ho già ampiamente inserito nel testo, sono serviti soprattutto nella produzione armonica e articolata del linguaggio; la loro assenza infatti, congenita o ambientale, può essere determinante ed influente sullo sviluppo della mandibola e dell'osso mascellare.

Non meno importante è l'apporto del cervello, che con le sue connessioni neurali, e la sua lateralizzazione, è stato da sempre oggetto di studi ed elaborazioni scientifiche.

La complessità dell'argomento nell'elaborazione del presente lavoro, è determinato dalla presenza di tesi contrastanti in merito proprio al controllo motorio dell'articolazione linguistica.

La teoria sensoriale è stata applicata in forma di un modello quantitativo che è alla base della neurofisiologia, nel relazionarsi di componenti del modello direttamente a regioni del cervello e funzione neurale.

La Teoria della percezione per azione del Controllo (meglio conosciuta come PACT, ossia Perception-for-Action-Control Theory) propone una sintesi tra il punto di vista motorio e auditorio, per cui gli oggetti della percezione dell'articolazione linguistica sono sia percezioni multisensoriali, regolarizzate dalla conoscenza della produzione del discorso, sia gestualità dello stesso raffigurate dai processi percettivi.

L'ipotesi del frame content consentirebbe di offrire una spiegazione plausibile sia dell'evoluzione dell'articolazione vocale che dello sviluppo ontogenetico della stessa, avvalorando la fondatezza delle teorie dello speech motor control. MacNeilage (2008), basando la propria ricerca su come si sia evoluto il linguaggio articolato, fornisce una risposta alla domanda di come funziona, utilizzando uno scenario di come il discorso si sviluppa nei neonati.

Questi iniziano a produrre "frame", al quale vengono aggiunti, con lo sviluppo fisico motorio, movimenti di contenuto. In contrasto con il frame dell'adulto, quello del neonato è una produzione emergente della produzione ritmica determinata da cicli di chiusura e apertura della mandibola, una produzione biomeccanica del meccanismo periferico del discorso.

Per quanto riguarda la funzione del linguaggio, è chiaro negli umani moderni, ma non si può presumere che nelle fasi precedenti dell'evoluzione sia stato in grado di svolgere la funzione comunicativa complessa che soddisfa oggi.

MacNeilage (2008) utilizza anche prove, dallo studio dei neuroni specchio, per sostenere ipotesi che sono cruciali nelle capacità imitative necessarie per l'apprendimento. I neuroni specchio potrebbero quindi contribuire, in azioni osservate, a fornire una mappatura del comportamento motorio necessario per imitare tali azioni.

Scoperti intorno agli anni '90, con l'ipotesi dell'esistenza di un vero e proprio sistema a specchio ad essi correlato, i neuroni specchio sono stati presentati come veri e propri contributori atti a spiegare non solo l'origine ma anche il funzionamento del linguaggio.

Scoperti nella corteccia premotoria del cervello del macaco (area F5), l'attivazione di questi neuroni avviene sia durante l'esecuzione di azioni attive, come portare il cibo in bocca o afferrare con le mani un oggetto, sia durante l'osservazione delle stesse azioni compiute da altri.

I neuroni specchio permettono di stabilire una relazione tra l'informazione visiva e il riconoscimento dello schema motorio: ciò richiede l'intervento di precisi meccanismi di anticipazione e di controllo che implicano una relazione causale tra l'attivazione neurale e gli effetti che essa determina.

A differenza delle altre specie, nell'uomo oltre alle aree motorie e premotorie, i neuroni specchio occupano anche l'area di Broca e la corteccia parietale inferiore.

Da un punto di vista evolutivo, recenti studi (MacNeilage 2008) hanno ipotizzato che il riconoscimento dei volti e l'elaborazione di relazioni spaziali potrebbero risalire alla necessità di percepire con rapidità i predatori.

Il linguaggio umano sembra essersi quindi evoluto attraverso informazioni trasmesse testualmente, poi comprese e decodificate dal sistema mirror. Per arrivare al linguaggio, quindi, si è passati dall'imitazione a un proto segno, comunicazione basata su gesti manuali, dal protosegno alla protoparola, un inizio di controllo del sistema vocale, fino alla comparsa del linguaggio, con la costruzione della frase complessa tramite strutture sintattiche e semantiche.

Gli studi che tradizionalmente considerano in modo distinto e separato i campi della percezione, della cognizione linguistica e dell'azione, sono numerosi.

Il cognitivismo classico, ad esempio, prevede che, l'elaborazione del linguaggio possa avvenire attraverso la traduzione di stimoli elaborati percettivamente.

Ho trovato interessanti riportare alcuni argomenti relativi all'embodied cognition, termine molto, anzi troppo inclusivo e generalmente vincolato a elementi corporei e ambientali.

Il termine viene per la prima volta teorizzato da Larry Barsalow nel 1999, anche se il suo più importante fautore fu Zwaan, il quale, pur dibattendo intorno alle due correnti di pensiero sulla comprensione del linguaggio che vedono da una parte coloro che ritengono che la comprensione del linguaggio includa l'utilizzo di simboli astratti e coloro che pensano che la comprensione sia insita nella percezione e nell'azione, vede nell'approccio pluralista tenta, fallendo, di risolvere i due problemi principali della comprensione: il grounding problem e lo scaling problem.

Ho voluto concludere il presente lavoro evidenziando che la comunicazione avviene non solo tramite imitazione ma anche attraverso la vocalizzazione, il linguaggio, i volti e le loro espressioni, o ancor meglio, attraverso una combinazione di queste.

I volti e il linguaggio non verbale, ad esempio, sono essenziali per la comunicazione per i neonati prima di comprendere il linguaggio gestuale o orale.

Anche se le informazioni uditive da soli sono sufficienti per comprendere il discorso, ci affidiamo sistematicamente e inconsapevolmente alle informazioni visive fornite dal volto di un parlante.

L'elaborazione del viso si sviluppa durante i primi anni di vita da un ampio sistema non specifico ad un processore a faccia sintonizzato dall'uomo.

Infine la mia teoria tenderebbe a dimostrare che le teorie meccanicistiche sino ad ora prese in considerazione, vengono messe in discussione laddove emergono evidenti studi analitici che vedono nell'imitazione uditiva e visiva la modalità più diretta e completa di spiegare il complesso modo di apprendere il linguaggio.



## Bibliografia

Abbs, J. H., & Cole, K. J. (1982). Consideration of bulbar and suprabulbar afferent influences upon speech motor coordination and programming. *Speech motor control*, 36, 159-86.

Adams, C. English Speech Rhythm And The Foreign Learner. The Hague: Mouton, 1979.

Adornetti I.(2012). Origine del linguaggio, in APhEx, portale italiano di filosofia analitica, n. 5 , gennaio 2012.

Ackermann, F. (1941). Une nouvelle theorie a la bas du complexe occluso-articulaire. *Schweiz Monatsschr Zahnheilk*, 51, 892-898.

Ahlren J.(1966). Mechanism of mastication. A quantitative cinematographic andelectromyographic study of masticatory movements In children, with special reference to acclusion of the teeth. *Acta Odontologica Scandinavica*, 24 (Suppl.) pag 44.

Aiello, L, Dean C. An introduction to Human Evolutionary anatomy London Academic Press 1990.

Amitrano A., La Voce: Uno Strumento Dei Professionisti Che Promuovono La Salute, Springer, Pisa, 2010.

Amitrano, A. (2010). Conclusioni. In *La voce* (pp. 45-45). Springer Milan.

Anolli L., Ciceri R. (1997). La voce delle emozioni, Franco Angeli.

Arbib, M. A. (2002). fO The Mirror System, Imitation, and the Evolution of Language. *Imitation in animals and artifacts*, 229.

Arbib, Michael A., The Myth of “The Myth of Mirror Neurons, Review of The Myth of Mirror Neurons: The Real Neuroscience of Communication and Cognition By Gregory Hickok , University of Southern California, Los Angeles, CA 90089-2520.

Arbib, M. A., Bonaiuto, J., & Rosta, E. (2006). The mirror system hypothesis: From a macaque-like mirror system to imitation. In *Proceedings of the 6th International Conference on the Evolution of Language* (pp. 3-10).

Arbib, M.A., 2012. How the Brain Got Language: The Mirror System Hypothesis. Oxford University Press, Oxford.

Arboitz, F., (2012). Gestures, vocalizations: and memory in language origins. *Front. Evolut. Neurosci.* 4, 1–15.

Arriaga, G., Jarvis, E.D.,(2013). Mouse vocal communication system: are ultrasounds learned or innate? *Brain Lang.* 124 (1), 96–116

Ashe, J., Taira, M., Smyrnis, N., Pellizzer, G., Georgakopoulos, T., Lurito, J. T., & Georgopoulos, A. P. (1993). Motor cortical activity preceding a memorized movement trajectory with an orthogonal bend. *Experimental Brain Research*, 95(1), 118-130.

Atherton, M. V., & Washburn, M. F. (1912). Mediate Associations Studied by the Method of Inhibiting Associations: An Instance of the Effect of "Aufgabe". *The American Journal of Psychology*, 23(1), 101-109.

Atkeson, C. G., & Hollerbach, J. M. (1985). Kinematic features of unrestrained vertical arm movements. *Journal of Neuroscience*, 5(9), 2318-2330.

Avery J. K.,(2002). Oral Development and Histology, Thieme, New York.

Aziz-Zadeh, L., Wilson, S. M., Rizzolatti, G., & Iacoboni, M. (2006). Congruent embodied representations for visually presented actions and linguistic phrases describing actions. *Current biology*, 16(18), 1818-1823.

Aziz-Zadeh, L., & Damasio, A. (2008). Embodied semantics for actions: Findings from functional brain imaging. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1), 35-39.

- Bak, T. H., & Hodges, J. R. (2004). The effects of motor neurone disease on language: further evidence. *Brain and language*, 89(2), 354-361.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptions of perceptual symbols. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 637-660.
- Barsalou, L. W. (2005). Continuity of the conceptual system across species. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 309-311.
- Barsalou, L. W. (2010). Grounded cognition: Past, present, and future. *Topics in cognitive science*, 2(4), 716-724.
- Basso, A. (2005). *Conoscere e rieducare l'afasia*. Pensiero Scientifico.
- Belyk, M., & Brown, S. (2014). Somatotopy of the extrinsic laryngeal muscles in the human sensorimotor cortex. *Behavioural brain research*, 270, 364-371.
- Belyk, M., & Brown, S. (2015). Pitch underlies activation of the vocal system during affective vocalization. *Social cognitive and affective neuroscience*, 11(7), 1078-1088.
- Belyk, M., Kraft, S. J., & Brown, S. (2015). PlexinA polymorphisms mediate the developmental trajectory of human corpus callosum microstructure. *Journal of human genetics*, 60(3), 147-150.
- Belyk, M., Pfordresher, P. Q., Liotti, M., & Brown, S. (2016). The neural basis of vocal pitch imitation in humans. *Journal of cognitive neuroscience*.
- Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 403(6767), 309-312.
- Belin P., Fecteau S., Bédard C.(2004). Thinking the voice: neural correlates of voice perception. *Trends Cognition Science*, 8 :129–135.

Belin, P. (2008). Monkeys Hear Voices. *Scientific American Mind*, 90-91.

Belin, P., & Grosbras, M. H. (2010). Before speech: cerebral voice processing in infants. *Neuron*, 65(6), 733-735.

Belin, P., Bestelmeyer, P. E., Latinus, M., & Watson, R. (2011). Understanding voice perception. *British Journal of Psychology*, 102(4), 711-725.

Benoit, C., Mohamadi, T., & Kandel, S. (1994). Effects of phonetic context on audio-visual intelligibility of French. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 37(5), 1195-1203.

Bernal, B., Ardila, A., (2009). The role of the arcuate fasciculus in conduction aphasia. *Brain* 132, 2309–2316.

Bergen, B., & Wheeler, K. (2010). Grammatical aspect and mental simulation. *Brain and language*, 112(3), 150-158.

Bergman, B., Ericson, Å., & Molin, M. (1996). Long-Term Clinical Results After Treatment With Conical Crown--Retained Dentures. *International Journal of Prosthodontics*, 9(6).

Bergman T.J., (2013). Speech-like vocalized lip-smacking in geladas. *Curr. Biol.* 23(7), R268–R269.

Berkeley, G. (1948). *An Essay Towards A New Theory Of Vision*, Dublin; Indi London, Nelson And Soons, 1709; *Saggio Sulla Nuova Teoria Della Visione*, Tr. It. Di G. Amendola, Lanciano, Carabba Editore, 1931; *Indi Teoria Della Visione*, Tr. It. A C. Di P. Spinicci, Milano, Guerini, 1995

Berkeley, G., (1710), *A Treatise Concerning The Principles Of Human Knowledge*, Oxford - New York, Oxford University Press, 1998; *Trattato Sui Principi Della Conoscenza Umana*, Tr. It. Di D. Bertini, Milano, Bompiani, 2004.

Berlyne D.E. (1978). *Struttura E Orientamento Del Pensiero*. Giunti Barbera, Firenze.

Hull C.L. (1978) *I Principi Del Comportamento. Introduzione Alla Teoria Del Comportamento*. Armando, Roma

Bickley, C., Lindblom, B., & Roug, L. (1986). Acoustic measures of rhythm in infants' babbling, or "All God's children got rhythm". In *Proceedings of the 12th International congress on Acoustics*.

Borghi, A. M., Flumini, A., Cimatti, F., Marocco, D., & Scorolli, C. (2011). Manipulating objects and telling words: a study on concrete and abstract words acquisition. *Frontiers in psychology*, 2.

Bormioli, S. P., Sartore, S., Vitadello, M., & Schiaffino, S. (1980). " Slow" myosins in vertebrate skeletal muscle. An immunofluorescence study. *The Journal of cell biology*, 85(3), 672-681.

Bottjer, S., Miesner, E., Arnold, A., (1984). Forebrain lesions disrupt development but not maintenance of song in passerine birds. *Science* 224 (4651), 901–903.

Boulenger, V., Mechtouff, L., Thobois, S., Broussolle, E., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Word processing in Parkinson's disease is impaired for action verbs but not for concrete nouns. *Neuropsychologia*, 46(2), 743-756.

Boulenger, V., Silber, B. Y., Roy, A. C., Paulignan, Y., Jeannerod, M., & Nazir, T. A. (2008). Subliminal display of action words interferes with motor planning: a combined EEG and kinematic study. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1), 130-136.

Brainard, M.S., (2004). Contributions of the anterior forebrain pathway to vocalplasticity. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1016, 377–394.

Brandi, L., & Salvadori, B. (2004). *Dal suono alla parola*. Firenze University Press.

Breshears, J.D., Molinaro, A.M., Chang, E.F., (2015). A probabilistic map of the human ventral sensorimotor cortex using electrical stimulation. *J. Neurosurg.* 123(2) 340-349.

Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole). *Bulletin de la Société anatomique*, 6(343), 57.

Browman, C. P., & Goldstein, L. (1990). Tiers in articulatory phonology, with some implications for casual speech. *Papers in laboratory phonology I: Between the grammar and physics of speech*, 341-376.

Brodmann, K. (1909). Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Barth.

Brown, S. (2003). Biomusicology and the three paradoxes about music. *Bulletin of Psychology and the Arts*, 4, 14-17.

Brown, S., Martinez, M.J., Parsons, L.M., (2006). Music and language side by side in the brain: a PET study of the generation of melodies and sentences. *Eur. J. Neurosci.* 23 (10), 2791–2803.

Brown, S., & Martinez, M. J. (2007). Activation of premotor vocal areas during musical discrimination. *Brain and cognition*, 63(1), 59-69.

Brown, S., Ngan, E., Liotti, M., (2008). A larynx area in the human motor cortex. *Cereb. Cortex* 18 (4).

Brown, S., Laird, A.R., Pfordresher, P.Q., Thelen, S.M., Turkeltaub, P., Liotti, M., 2009. The somatotopy of speech: phonation and articulation in the human motor cortex. *Brain Cogn.* 70 (1), 31–41.

Brown, S., 2000. The musilanguage model of music evolution. In: Wallin, N., Merker, B., Brown, S. (Eds.), *The Origins of Music*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 271–300.

Buccino, G., Binkofski, F., Fink, G. R., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., ... & Freund, H. J. (2001). Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European journal of neuroscience*, 13(2), 400-404.

Buccino, G., Riggio, L., Melli, G., Binkofski, F., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2005). Listening to action-related sentences modulates the activity of the motor system: A combined TMS and behavioral study. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 355-363.

Cadonici P.,(2000). La voce. Dall'immaginario al Reale. Tra Arte, Mito e Fiaba, Rubettino, Catanzaro.

Caminiti, R., Johnson, P. B., & Urbano, A. (1990). Making arm movements within different parts of space: dynamic aspects in the primate motor cortex. *Journal of Neuroscience*, 10(7), 2039-2058.

Campbell, E. (1968). The Respiratory Muscles. In A. Bouhuys (Eds.), *Sound Production In Man* (Pp. 135-140). New York: Annals Of The New York Academy Of Science.

Candidi, M., Leone-Fernandez, B., Barber, H. A., Carreiras, M., & Aglioti, S. M. (2010). Hands on the future: facilitation of cortico-spinal hand-representation when reading the future tense of hand-related action verbs. *European Journal of Neuroscience*, 32(4), 677-683.

Carlsoo, S. (1952). Nervous coordination and mechanical function of the mandibular elevators; and electromyographic study of the activity, and an anatomic analysis of the mechanics of the muscles. *Acta odontologica Scandinavica. Supplementum*, 10(11), 1-132.

Carpenter, A. F., Georgopoulos, A. P., and Pellizzer, G. (1999). Motor cortical encoding of serial order in a context-recall task. *Science* 283(5408), 1752-1757.

Caruana, F., & Borghi, A. M. (2013). Embodied Cognition: una nuova psicologia. *Giornale italiano di psicologia*, 1, 23-48.

Ciochon, R. L. (1987). *Primate evolution and human origins*. J. G. Fleagle (Ed.). Transaction Publishers.

Chong, T. T. J., Cunnington, R., Williams, M. A., Kanwisher, N., & Mattingley, J. B. (2008). fMRI adaptation reveals mirror neurons in human inferior parietal cortex. *Current biology*, 18(20), 1576-1580.

Chomsky, N. (2014). *Aspects of the Theory of Syntax* (Vol. 11). MIT press.

Crepaldi, D., Berlinger, M., Cattinelli, I., Borghese, N. A., Luzzatti, C., & Paulesu, E. (2013). Clustering the lexicon in the brain: a meta-analysis of the neurofunctional evidence on noun and verb processing. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 303.

Charest, I., Pernet, C.R., Rousselet, G.A., Quinones, I., Latinus, M., Fillion-Bilodeau, S., Chartrand, J.-P., and Belin, P. (2009). Electrophysiological evidence for an early processing of human voices, *BMC Neurosci.* 10, 127.

Christiner, M., Reiterer, S.M., (2013). Song and speech: examining the link between singing talent and speech imitation ability. *Front. Psychol.* 4, 1–11.

Chugani, H.T., and Phelps, M.E. (1986). Maturation changes in cerebral function in infants determined by 18FDG positron emission tomography. *Science* 231, 840–843.

Corballis, M. C. (2003). From mouth to hand: gesture, speech, and the evolution of right-handedness. *Behavioral and Brain Sciences*, 26(2), 199-208.

Corballis, M. C. (2010). Mirror neurons and the evolution of language. *Brain and language*, 112(1), 25-35.

Coppens, Y. (1996). *La scimmia, l'Africa e l'uomo* (Vol. 404). Editoriale Jaca Book.

Coppens Y., *La storia dell'uomo. Ventidue anni di lezioni al Collège de France* (1983-2005), Jaca Book, 2009.



Coppen Y., Gepner S. (2009). *La storia delle scimmie*. Editoriale Jaca Book.

Cooper, F. S., Delattre, P. C., Liberman, A. M., Borst, J. M., & Gerstman, L. J. (1952). Some experiments on the perception of synthetic speech sounds. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 24(6), 597-606.

Coudé, G., Ferrari, P.F., Rodà, F., Maranesi, M., Borelli, E., Veroni, V., Monti, F., Rozzi, S., Fogassi, L., (2011). Neurons controlling voluntary vocalization in the macaque ventral pre-motor cortex. *PLoS One* 6 (2783), 1–10.

Coulon, M., Guellai, B., & Streri, A. (2011). Recognition of unfamiliar talking faces at birth. *International Journal of Behavioral Development*, 35(3), 282-287.

Cutugno, F., & Fougeron, C. (1999). A computer-based tutorial on models of speech perception. In *Proceedings ESCA/SOCRATES Tutorial and Research Workshop MATISSE* (pp. 85-88).

Cutugno, F., & Fougeron, C. (1999). A tutorial on Models of Speech Perception. In *MATISSE-ESCA/SOCRATES Workshop on Method and Tool Innovations for Speech Science Education*.

Cutugno, F., Passaro, G., & Petrillo, M. (2001). Sillabificazione fonologica e sillabificazione fonetica. na.

Cutugno, F., D'Anna, L., Petrillo, M., & Zovato, E. (2002). APA: Towards an automatic tool for prosodic analysis. In *Speech Prosody 2002, International Conference*.

Cutugno, F., Leano, V. A., Rinaldi, R., & Mignini, G. (2012, May). Multimodal framework for mobile interaction. In *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces* (pp. 197-203). ACM.

Daegling, D. J. (1993). Functional morphology of the human chin. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 1(5), 170-177.

Dapretto, M., Davies, M. S., Pfeifer, J. H., Scott, A. A., Sigman, M., Bookheimer, S. Y., & Iacoboni, M. (2006). Understanding emotions in others: mirror neuron dysfunction in children with autism spectrum disorders. *Nature neuroscience*, 9(1), 28-30.

Davis, B. L., MacNeilage, P. F., & Matyear, C. L. (2002). Acquisition of serial complexity in speech production: A comparison of phonetic and phonological approaches to first word production. *Phonetica*, 59(2-3), 75-107.

Davis, B. L., & MacNeilage, P. F. (1995). The articulatory basis of babbling. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(6), 1199-1211.

Dean, C. (1990). *An introduction to human evolutionary anatomy*. Academic Press.

Dean, C., Leakey, M. G., Reid, D., Schrenk, F., Schwartz, G. T., Stringer, C., & Walker, A. (2001). Growth processes in teeth distinguish modern humans from *Homo erectus* and earlier hominins. *Nature*, 414(6864), 628-631.

de Lafuente, V., & Romo, R. (2004). Language abilities of motor cortex. *Neuron*, 41(2), 178-180.

De Marinis R., *Origine ed evoluzione del genere Homo*, Dispensa del corso di Preistoria; Milano, 2007.

Démonet, J. F., Thierry, G., & Cardebat, D. (2005). Renewal of the neurophysiology of language: functional neuroimaging. *Physiological reviews*, 85(1), 49-95.

Diehl, R. L., Lotto, A. J., & Holt, L. L. (2004). Speech perception. *Annual Review of Psychology*, 74, 431-461.

Dinstein I., Thomas C., Behrmann M., Heeger D.J. (2008). A Mirror Up To Nature. *Curr Biol* 18(1):R13-R18.

- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91(1), 176-180.
- Diessel, H., & Tomasello, M. (2000). The development of relative clauses in spontaneous child speech. *Cognitive Linguistics*, 11(1/2), 131-152.
- Draper, M. H., Ladefoged, P., & Whitteridge, D. (1959). Respiratory muscles in speech. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 2(1), 16-27.
- Dubner, R., Sessle, B. J., & Storey, A. T. (1978). Peripheral components of motor control. In *The neural basis of oral and facial function* (pp. 211-245). Springer US.
- Eickhoff, S. B., Stephan, K. E., Mohlberg, H., Grefkes, C., Fink, G. R., Amunts, K., & Zilles, K. (2005). A new SPM toolbox for combining probabilistic cytoarchitectonic maps and functional imaging data. *Neuroimage*, 25(4), 1325-1335.
- Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171(3968), 303-306.
- Emes, Y., Aybar, B., & Yalcin, S. (2011). On the evolution of human jaws and teeth: A review. *Bulletin of the International Association for Paleodontology*, 5(1), 37-47.
- Ethofer, T., Van De Ville, D., Scherer, K., and Vuilleumier, P. (2009). Decoding of emotional information in voice-sensitive cortices. *Curr. Biol.* 19, 1028–1033.
- Ewald T.R. (1898 ).Zur Konstruktion Von Polsterpfeifen, *Archives Of Laryngology And Rhinology*, 171-183.
- Faaborg-Andersen, K. (1957). Electromyographic investigation of intrinsic laryngeal muscles in humans. *Acta physiol scand*, 41, 140.

Fant, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*, Mouton: The Hague-Paris, 1970./  
a. *k/i*.

Fant G., (1968). *Analysis and Synthesis of Speech Processes*, *Manual of phonetics*, ed. B. Malmberg.

Falzone A.(2008). *Strutture, Funzioni, Complessità. Si Può Naturalizzare La filosofia Della Mente?*, Rubbettino Editore.

Falzone, A. (2012). *Specie-specificità, linguaggio, rappresentazione: la tecnologia uditivo-vocale nel sapiens. 4 Scienza cognitiva incarnata e modelli evolutivisti*, 44.

Fava N., Galli L. A.(2011). *Rappresentazione e modellazione odontotecnica*, Vol. I, approfondimenti , Franco Lucisano ed., Milano.

Flanagan, J. L. (2013). *Speech analysis synthesis and perception* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.

Fee, M.S., Goldberg, J.H., (2011). *A hypothesis for basal ganglia-dependent reinforcement learning in the songbird*. *Neuroscience* 198, 152–170.

Feldman, A. G. (1966). *Functional tuning of nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture. 2. controllable parameters of muscles*. *BIOPHYSICS-USSR*, 11(3), 565.

Feldman, A. G., & Levin, M. F. (1995). *The origin and use of positional frames of reference in motor control*. *Behavioral and brain sciences*, 18(04), 723-744.

Feldman, A. G., & Orlovsky, G. N. (1972). *The influence of different descending systems on the tonic stretch reflex in the cat*. *Experimental neurology*, 37(3), 481-494.

Feldman, A. G., Adamovich, S. V., Ostry, D. J., & Flanagan, J. R. (1990). The origin of electromyograms—explanations based on the equilibrium point hypothesis. In *Multiple muscle systems* (pp. 195-213). Springer New York.

Ferembach, D., Schwidetzky, I., & Stloukal, M. (1977). Raccomandazioni per la determinazione dell'età e del sesso sullo scheletro. *Rivista di Antropologia Roma*, 60, 5-51.

Fernández-Miranda, J.C., Wang, Y., Pathak, S., Stefaneau, L., Verstynen, T., Yeh, F.C., (2015). Asymmetry, connectivity: and segmentation of the arcuate fascicle in the human brain. *Brain Struct. Funct.* 220, 1665–1680.

Fernandino, L., & Iacoboni, M. (2010). Are cortical motor maps based on body parts or coordinated actions? Implications for embodied semantics. *Brain and language*, 112(1), 44-53.

Ferrein, A. 1741. De la formation de la voix de l'homme. *Memoires de l'academic royale*, 409-432.

Fitch, W. T. (2006). The biology and evolution of music: A comparative perspective. *Cognition*, 100(1), 173-215.

Fitch, W.T., Hauser, M.D., (2002). Unpacking honesty: vertebrate vocal production and the evolution of acoustic signals. In: Simmons, A.M., Popper, A.N., Fay, R.R.(Eds.), *Acoustic Communication*, 16. Springer, New York, pp. 65–137.

Flash, T., & Hogan, N. (1985). The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model. *Journal of neuroscience*, 5(7), 1688-1703.

Fleagle, J. G., Rasmussen, D. T., Yirga, S., Bown, T. M., & Grine, F. E. (1991). New hominid fossils from Fejej, southern Ethiopia. *Journal of Human Evolution*, 21(2), 145-152.

Franzini-Armstrong, C. (1984). Freeze-fracture of frog slow tonic fibers. Structure of surface and internal membranes. *Tissue and Cell*, 16(4), 647-664.

Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind: An essay on faculty psychology*. MIT press.

Foerster, O., (1931). The cerebral cortex in man. *Lancet* 218 (5632), 309–312.

Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, 308(5722), 662-667.

Fogassi, L., Gallese, V., Fadiga, L., Luppino, G., Matelli, M., & Rizzolatti, G. (1996). Coding of peripersonal space in inferior premotor cortex (area F4). *Journal of neurophysiology*, 76(1), 141-157.

Fort, M., Kandel, S., Chipot, J., Savariaux, C., Granjon, L., & Spinelli, E. (2013). Seeing the initial articulatory gestures of a word triggers lexical access. *Language and Cognitive Processes*, 28(8), 1207-1223.

Fowler, C. (1986). An event approach to the study of speech perception from a direct-realist perspective. *Journal of Phonetics*, 14, 3–28.

Franzini-Armstrong, C. (1984). Freeze-fracture of frog slow tonic fibers. Structure of surface and internal membranes. *Tissue and Cell*, 16(4), 647-664.

Friederici, A. D., (2005). Neurophysiological markers of early language acquisition: From syllables to sentences. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(10), 481–488.

Friederici, A.D., (2012). Language development and the ontogeny of the dorsal pathway. *Front. Evolut. Neurosci.* 4, 1–7.

Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.

Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the pre-motor cortex. *Brain*, *119*(2), 593-609.

Gallese, V., Migone, P., & Eagle, M. N. (2006). La simulazione incarnata: i neuroni specchio, le basi neurofisiologiche dell'intersoggettività e alcune implicazioni per la psicoanalisi. *Psicoterapia e scienze umane*.

Ganis, G., Keenan, J. P., Kosslyn, S. M., & Pascual-Leone, A. (2000). Transcranial magnetic stimulation of primary motor cortex affects mental rotation. *Cerebral Cortex*, *10*(2), 175-180.

Garn, S. M., & Leonard, W. R. (1989). What did our ancestors eat?. *Nutrition Reviews*, *47*(11), 337-345.

Gérard, J. M., Wilhelms-Tricarico, R., Perrier, P., & Payan, Y. (2006). A 3D dynamical bio-mechanical tongue model to study speech motor control. *arXiv preprint physics/0606148*.

Geissmann, T., (2000). Gibbon songs and human music from an evolutionary perspective. In: Wallin, N., Merker, B., Brown, S. (Eds.), *The Origins of Music*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 103–123.

Geyer, S. (2004). Prologue: Toward the Concept of a Cortical Control of Voluntary Movements. In *The Microstructural Border Between the Motor and the Cognitive Domain in the Human Cerebral Cortex* (pp. 1-8). Springer Berlin Heidelberg.

Geyer, S., Ledberg, A., Schleicher, A., & Kinomura, S. (1996). Two different areas within the primary motor cortex of man. *Nature*, *382*(6594), 805.

Georgopoulos, A. P., Lurito, J. T., Petrides, M., Schwartz, A. B., and Massey, J. T. (1989). Mental rotation of the neuronal population vector. *Science* *243*, 234–236.

- Georgopoulos, A. P., & Pellizzer, G. (1995). The mental and the neural: Psychological and neural studies of mental rotation and memory scanning. *Neuropsychologia*, 33(11), 1531-1547.
- Geschwind, N., (1970). The organization of language and the brain. *Science* 170(3961), 940–944.
- Gibbs, C. H., & Messerman, T. H. E. O. D. O. R. E. (1972). Jaw motion during speech. *ASHA Reports*, 7, R104-R112.
- Giret, N., Kornfeld, J., Ganguli, S., Hahnloser, R.H.R., (2014). Evidence for a causal inverse model in an avian cortico-basal ganglia circuit. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 111 (16), 6063–6068.
- Grant, P. G. (1973). Lateral pterygoid: two muscles?. *Developmental Dynamics*, 138(1), 1-9.
- Ghio, M., & Tettamanti, M. (2010). Semantic domain-specific functional integration for action-related vs. abstract concepts. *Brain and language*, 112(3), 223-232.
- Glasser, M.F., Rilling, J.K., (2008). DTI tractography of the human brain's language pathways. *Cereb. Cortex* 18 (11), 2471–2482.
- Glenberg, A. M., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D., & Buccino, G. (2008). Processing abstract language modulates motor system activity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 905-919.
- Glenberg, A. M., Sato, M., & Cattaneo, L. (2008). Use-induced motor plasticity affects the processing of abstract and concrete language. *Current Biology*, 18(7), R290-R291.
- GOBL C. & NÍ CHASAIDE A. (2003), “The role of voice quality in communicating emotion, mood and attitude”, in *Speech Communication*, Vol. 40, no. 1-2, 189-212.



Goldman, A. I. (2006). *Simulating minds: The philosophy, psychology, and neuroscience of mindreading*. Oxford University Press.

Goldman, A., & de Vignemont, F. (2009). Is social cognition embodied?. *Trends in cognitive sciences*, 13(4), 154-159.

Gracco, V.L., Löfqvist, A., (1994). Speech motor coordination and control: evidence from lip, jaw: and laryngeal movements. *J. Neurosci.* 14, 6585–6597.

Grandjean D., Sander D., Pourtois G., Schwartz S., Seghier ML, Scherer KR, Vuilleumier P.(2005), Le voci dell'ira: le risposte del cervello alla prosa arrabbiata in un linguaggio inesatto. *Nat. Neurosci.* 8 : 145-146.

Grant P., (1973). Lateral Pterygoid: Two Muscles? In *American Journal Of Anatomy*. 138: 1-9.

Griffin, C. J., & Munro, R. R. (1969). Electromyography of the jaw-closing muscles in the open-close-clench cycle in man. *Archives of oral biology*, 14(2), 141IN5-149IN11.

Grill-Spector, K., & Malach, R. (2001). fMR-adaptation: a tool for studying the functional properties of human cortical neurons. *Acta psychologica*, 107(1), 293-321.

Grill-Spector, K., Henson, R., & Martin, A. (2006). Repetition and the brain: neural models of stimulus-specific effects. *Trends in cognitive sciences*, 10(1), 14-23.

Grimaldi M., L'insieme È La Somma Delle Parti. Considerazioni Preliminari Su Dati Articolatori Della Lingua Ottenuti Tramite Ultrasuoni Ed Articolografo Elettromagnetico 3d, In L. Romito, R. Lio, V. Galatà (A Cura Di), *La Fonetica Sperimentale: Metodi Ed Applicazioni*, Edk, Brescia: 196-214.

Grine, F.E., Martin L.B (1988). Enamel thickness and development in *Australopithecus* and *Paranthropus*. In Grine FE (ed.) *The Evolutionary History of the Robust Australopithecines*, pp. 3–42.

Grossmann T., Striano T., Friederici A.D.,(2005). Infants' electric brain responses to emotional prosody. *Neuroreport.*; 16 :1825–1828.

Grossmann, T., Oberecker, R., Koch, S.P., and Friederici, A.D. (2010), The developmental origins of voice processing in the human brain, *Neuron* 65, this issue, 852–858.

Grossmann T., Johnson MH, Lloyd-Fox S., Blasi A., Deligianni F., Elwell C., Csibra G. (2008) cortical specialization for face-to-face communication in human infants. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* ;275 :2803–2811.

Guenther, F. H. (1994). A neural network model of speech acquisition and motor equivalent speech production. *Biological cybernetics*, 72(1), 43-53.

Guenther, F. H. (1995). Speech sound acquisition, coarticulation, and rate effects in a neural network model of speech production. *Psychological review*, 102(3), 594.

Guenther, F. H., Hampson, M., & Johnson, D. (1998). A theoretical investigation of reference frames for the planning of speech movements. *Psychological review*, 105(4), 611.

Guenther, F. H., & Gjaja, M. N. (1996). The perceptual magnet effect as an emergent property of neural map formation. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(2), 1111-1121.

Guglielmi A.,(2002). *Il Linguaggio del corpo, come riconoscere qualità, menzogne, capacità*, PIEMME ed..

Hage, S.R., Nieder, A., (2013). Single neurons in monkey prefrontal cortex encode volitional initiation of vocalizations. *Nat. Commun.* 4, 2409.

Haile-Selassie, Y. (2001). Late Miocene hominids from the middle Awash, Ethiopia. *Nature*, 412(6843), 178-181.

Hayes, K.J., Hayes, C., (1951). The intellectual development of a home-raised chimpanzee. *Proc. Am. Philos. Soc.* 95, 105–109.

Han, Y., Wang, J., Fischman, D. A., Biller, H. F., & Sanders, I. (1999). Slow tonic muscle fibers in the thyroarytenoid muscles of human vocal folds; a possible specialization for speech. *The Anatomical Record*, 256(2), 146-157.

Hannon, E. E., & Trehub, S. E. (2005). Tuning in to musical rhythms: Infants learn more readily than adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(35), 12639-12643.

Hardcastle, W. J. (1974). Instrumental investigations of lingual activity during speech: a survey. *Phonetica*, 29(3), 129-157.

Harshman, R., Ladefoged, P., & Goldstein, L. (1977). Factor analysis of tongue shapes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 62(3), 693-707.

Harvey, P.H., Krebs, J.R. (1990). Comparing Brains. *Science* 249, 140-146.

Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.

Hauk, O., Shtyrov, Y., & Pulvermüller, F. (2008). The time course of action and action-word comprehension in the human brain as revealed by neurophysiology. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1), 50-58.

Hauser, M. D., (1996), *The Evolution Of Communication.*, Ma: Mit Press, Cambridge.

Hast, M.H., Milojkovic, R., (1966). The response of the vocal folds to electrical stimulation of the inferior frontal cortex of the squirrel monkey. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)* 61, 196–204.

Hast, M.H., Fischer, J.M., Wetzel, A.B., Thompson, V.E., (1974). Cortical motor representation of the laryngeal muscles in *Macaca mulatta*. *Brain* 73, 229–240.

- Haxby, J. V., Hoffman, E. A., & Gobbini, M. I. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in cognitive sciences*, 4(6), 223-233.
- Henneberg, M., Sarafis, V., & Mathers, K. (1998). Human adaptations to meat eating. *Human Evolution*, 13(3-4), 229-234.
- Hickey, J. C., Stacy, R. W., & Rinear, L. L. (1957). Electromyographic studies of mandibular muscles in basic jaw movements. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 7(4), 565-570.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(5), 393-402.
- Hickok, G. Eight Problems for the Mirror Neuron Theory of Action Understanding in Monkeys and Humans, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2009 July 21(7), 1229-1243
- Hickok, G. (2014). *The myth of mirror neurons: The real neuroscience of communication and cognition*. WW Norton & Company.
- Hines, M., (1940). Movements elicited from precentral gyrus of adult chimpanzees by stimulation with sine wave currents. *J. Neurophysiol.* 3, 442-466.
- Hirano, M. (1975). Phonosurgery: basic and clinical investigations. *Otologia (Fukuoka)*, 21(suppl 1), 239-260.
- Hirano, M. (1974). Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 26(2), 89-94.
- Hirano, M., & Kakita, Y. (1985). Cover-body theory of vocal fold vibration. *Speech science*, 1-46.
- Hixon, T. J., & Weismer, G. (1995). Perspectives on the Edinburgh study of speech breathing. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 38(1), 42-60.

Hillson, S. (1996). *Dental anthropology*. Cambridge University Press.

Hogan, N. (1984). Adaptive control of mechanical impedance by coactivation of antagonist muscles. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 29(8), 681-690.

Hollerbach, J. M., & Flash, T. (1982). Dynamic interactions between limb segments during planar arm movement. *Biological cybernetics*, 44(1), 67-77.

Holloway, R. L. (1966). Cranial capacity, neural reorganization, and hominid evolution: a search for more suitable parameters. *American Anthropologist*, 68(1), 103-121.

Hopkins, W.D., Tagliatela, J., Leavens, D.a., (2007). Chimpanzees differentially produce novel vocalizations to capture the attention of a human. *Anim. Behav.* 73 (2), 281–286.

Houde, R. A. (1968). *A study of tongue body motion during selected speech sounds* (No. SCRL-Monograph-2). SPEECH COMMUNICATIONS RESEARCH LAB INC SANTA BARBARA CALIF.

Husson R. (1962). *Physiologie De La Phonation*, Paris, Masson.

Iacoboni M., Koski L.M., Brass M., Bekkering H., Woods R.P., Dubeau M.C., Mazziotta J.C., Rizzolatti G. (2001) *Reafferent copies of imitated actions in the right superior temporal cortex*, in «Proceedings of National Academy of Sciences of USA», 98, 24, pp. 13995-9.

Iacoboni M., Molnar-Szakacs I., Gallese V., Buccino G., Mazziotta J.C., Rizzolatti G. (2005) *Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system*, in «PLoS Biology», 3, pp. 529-35.

Iacoboni M., Wilson S.M. (2006) *Beyond a single area: motor control and language within a neural architecture encompassing Broca's area*, in «Cortex», 42, pp. 503-6.

Ichim, I., Kieser, J., & Swain, M. (2007). Tongue contractions during speech may have led to the development of the bony geometry of the chin following the evolution of human language: a mechanobiological hypothesis for the development of the human chin. *Medical hypotheses*, 69(1), 20-24.

Janik, V.M., Slater, P.J.B., (2000). The different roles of social learning in vocal communication. *Anim. Behav.* 60 (1), 1–11.

Janik, V.M., (2014). Cetacean vocal learning and communication. *Curr. Opin. Neurobiol.* 28, 60–65.

Jarvis, E.D., (2004). Learned birdsong and the neurobiology of human language. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1016, 749–777.

Jarvis, E., Güntürkün, O., Bruce, L., Csillag, A., Karten, H., Kuenzel, W., Medina, L., Paxinos, G., Perkel, D.J., Shimizu, T., Strieder, G., Wild, J.M., Ball, G.F., Dugas-Ford, J., Durand, S.E., Hough, G.E., Husband, S., Kubikova, L., Lee, D.W., Mello, C.V., Powers, A., Siang, C., Smulders, T.V., Wada, K., White, S.A., Yamamoto, K., Yu, J., Reiner, A., Butler, A., (2005). Avian brains and a new understanding of vertebrate brain evolution. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 151–159.

Jarvis, E., (2007). Neural systems for vocal learning in birds and humans: a synopsis. *J. Ornithol.* 148 (1), 35–44.

Jeannerod, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain sciences*, 17(2), 187-202.

Johnson, E. K., Westrek, E., Nazzi, T., & Cutler, A. (2011). Infant ability to tell voices apart rests on language experience. *Developmental Science*, 14(5), 1002-1011.

Jürgens, U. (2002). Neural pathways underlying vocal control. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(2), 235-258.

- Jürgens, U., Ehrenreich, L., (2007). The descending motorcortical pathway to the laryngeal motoneurons in the squirrel monkey. *Brain Res.* 1148, 90–95.
- Kaas, A. L., Van Mier, H., & Goebel, R. (2007). The neural correlates of human working memory for haptically explored object orientations. *Cerebral Cortex*, 17(7), 1637-1649.
- Takei, S., Hoffman, D. S., and Strick, P. L. (1999). Muscle and movement representation in the primary motor cortex. *Science* 285, 2136–2139.
- Kanwisher N., McDermott J., Chun M.,M.(1997). The fusiform face area: a module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *J. Neurosci.* 17 :4302–4311.
- Kaup, B., Ludtke, J., & Zwaan, R. A. (2005, January). Effects of negation, truth value, and delay on picture recognition after reading affirmative and negative sentences. In *Proceedings of the Cognitive Science Society* (Vol. 27, No. 27).
- Kaup, B., Lüdtke, J., & Zwaan, R. A. (2006). Processing negated sentences with contradictory predicates: Is a door that is not open mentally closed?. *Journal of Pragmatics*, 38(7), 1033-1050.
- Keller, G.B. & Hahnloser, R.H. (2009) Neural processing of auditory feedback during vocal practice in a songbird. *Nature* 457: 187-90.
- Kennedy M, Zak R,Gao L.1991.Myosin Expression In Hypertrophied Fast Twitch And Slow Tonic Muscles Of Normal And Dystrophic Chickens. *Muscle & Nerve*14:166–177.
- Kent, R. And Moll, K. (1972). Cinefluorographic Analyses Of Selected Lingual Consonants. *Journal Of Speech And Hearing Research*, 15, 453-473.
- Krekelberg B, Boynton GM, van Wezel RJ (2006) Adaptation: From single cells to BOLD signals. *Trends Neurosci* 29(5):250–256.

Kent D,R., The Uniqueness Of Speech Among Motor, In Clinic Linguistics & Phonetics, University Of Wisconsin-Madison, Usa , 2004, Vol.18 N. 6-8, Pg 495-505.

Kewley-Port, D. And Preston, M.S. Early Apical Stop Production: A Voice Onset Time Analysis. J. Of Phonetics, 2, 195-210, 1974.

Kimbel W, Lockwood C, Ward CV, Leakey M, Rak Y, Johanson D. Was Australopithecus anamensis ancestral to A. afarensis? A case of anagenesis in the hominin fossil record. J Hum Evol. 2006;51:134-152.

Kisilevsky, B.S., Hains, S.M., Lee, K., Xie, X., Huang, H., Ye, H.H., Zhang, K., and Wang, Z. (2003), Effects of experience on fetal voice recognition, Psychol. Sci. 14, 220–224.

Kirzinger, A., Jürgens, U., (1982). Cortical lesion effects and vocalization in the squirrel monkey. Brain Res. 233, 299–315.

Koda, H., Oyakawa, C., Kato, A., Masataka, N., (2007). Experimental evidence for the volitional control of vocal production in an immature gibbon. Behaviour 144(6), 681–69.

Konopka, G., & Roberts, T. F. (2016). Insights into the neural and genetic basis of vocal communication. *Cell*, 164(6), 1269-1276.

Koopmans-van Beinum, F., Van der Steldt, J., Early stages in the development of speech movements; in Lindblom, Zetterstrom, Precursors of early speech; pp. 37–49 Stockton Press, New York, 1986.

Konig Wf, Leden Hv. 1961. The Peripheral Nervous System Of The Human Larynx. Part li: The Thyroarytenoid (Vocalis) Muscle. Arch Otol74:153–163.

Kryshtopava, M., Van Lierde, K., Meerschman, I., D'Haeseleer, E., De Moor, M., Vandemaële, P., Vingerhoets, G., Claeys, S.,(2017). functional magnetic resonance imaging stu-



dy of brain activity associated with pitch adaptation during phonation in healthy women without voice disorders. *Journal of voice*. 31(1),118 e21-118 e28.

Kubicek, C., Gervain, J., de Boisferon, A. H., Pascalis, O., Lœvenbruck, H., & Schwarzer, G. (2014). The influence of infant-directed speech on 12-month-olds' intersensory perception of fluent speech. *Infant Behavior and Development*, 37(4), 644-651.

Kuffler Sw Williams Emv. 1953. Properties Of The Slow Skeletal Muscle fibers Of The Frog. *J Physiol (Lond.)* 121:318–340.

Kuhl, P.K., Meltzoff, A.N. (1996). Infant vocalizations in response to speech: vocalimitation. *J. Acoust. Soc. Am.* 100 (4), 2425–2438.

Kuypers, H.G.J.M., (1958a). Some projections from the peri-central cortex to the pons and lower brain stem in monkey and chimpanzee. *J. Compar. Neurol.* 110,221–255.

Kuypers, H.G.J.M., (1958b). Corticobulbar connexions to the pons and lowerbrain-stem in man. *Brain* 81 (3), 364–388.

Ladefoged P., *Three Areas Of Experimental Phonetics*, Oxford University Press, London, 1967.

Laderfoged P. *Preliminary Studies On Respiratory Activity In Speech*, In *Ucla Working Papers In Phonetics*, Department Of Linguistics, Phonetics Laboratory, Ucla, 2002.

Lahy George *La voix du corps*, Ed. Lahy, Roquevaire, 2002.

Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the Flesh*. Basic books.

Lameira, A.R., Hardus, M.E., Bartlett, A.M., Shumaker, R.W., Wich, S.A., Menken,S.B.J., (2015). Speech-like rhythm in a voiced and voiceless orangutan call. *PLoSOne* 10 (1), e116 136.

Lamm, C., Nusbaum, H. C., Meltzoff, A. N., and Decety, J. (2007). What are you feeling Using functional magnetic resonance imaging to assess the modulation of sensory and affective responses during empathy for pain. *PLoS ONE* 2:e1292.

Lancaster, J. L., Tordesillas-Gutiérrez, D., Martínez, M., Salinas, F., Evans, A., Zilles, K., et al. (2007). Bias between MNI and Talairach coordinates analyzed using the ICBM-152 brain template. *Hum. Brain Mapp.* 28, 1194–1205.

Lashley, K.S., The Problem Of Serial Order In Behavior. In L. A. Jevress (Ed.), “Cerebral Mechanisms In Behavior: The Hixon Symposium”. New York: Wiley, 1951, 112–136.

Leakey MG, Feibel CS, MacDougall I, Ward CV, Walker A. New specimens and confirmation of an early age for *Australopithecus anamensis*. *Nature*. 1998;363:62-66.

Leakey MG, Feibel CS, McDougall I, Walker A. New four-million-year-old hominid species from Kanapoi and Alia Bay, Kenya. *Nature*. 1995;376:565-571.

Lee K, Anzures G, Quinn PC, Pascalis O, Slater A. Sviluppo della competenza nel trattamento del viso. In: Haxby JV, redattore; Calder AJ, Rhodes G, Johnson MH, redattori. Il manuale di Oxford della percezione del volto. New York, NY: Oxford University Press; 2011. pp. 753-778.

Leyton, S., Sherrington, C., (1917). Observations on the excitable cortex of the chimpanzee, orang-utan, and gorilla. *Exp. Physiol.* 11 (2), 135–222.

Lewkowicz, D. J., & Ghazanfar, A. A. (2009). The emergence of multisensory systems through perceptual narrowing. *Trends in cognitive sciences*, 13(11), 470-478.

Lewkowicz, D. J., & Hansen-Tift, A. M. (2012). Infants deploy selective attention to the mouth of a talking face when learning speech. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(5), 1431-1436.

Lieberman A.M et alii, 1957, "The discrimination of speech sounds within and across phoneme boundaries", *Journal of Experimental Psychology*, p. 358-368.

Lieberman, A. M., Cooper, F. S., Harris, K. S., & MacNeilage, P. F. (1962). A motor theory of speech perception. In *Proceedings of the speech communication seminar*. Stockholm.

Lieberman A.M., et alii, 1967, "Some observations on a model for speech perception". In W. Wathen-Dunn (Ed.) *Models for the Perception of Speech and Visual Form*, M.I.T Press Cambridge Massachusetts, p. 68-87.

Lieberman A M, Cooper F S, Shankweiler D P & Studdert-Kennedy M.(1967). Perception Of The Speech Code. *Psychol. Rev.* 74:431-61.

Lieberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1–36.

Lieberman, A. M., & Whalen, D. H. (2000). On the relation of speech to language. *Trends in Cognitive Science*, 4, 187–196.

Lieberman, DE. Testing hypotheses about recent Human Evolution from skulls: integrating morphology, function, development and phylogeny. *Curr Anthropol* 1995; 36: 159–97.  
Loeb, G.E. And Gans, C. *Electromyography For Experimentalists*. Chicago: University Of Chicago Press, 1986.

Lieberman, P. (1992). "On The Evolution Of Human Language", In Hawkins, J. A. And Gell-Mann, M., Eds., *The Evolution Of Human Languages*. Addison Wesley, Redwood City, CA, Pp. 21-47.

Lignau A., Gesierich B, Caramazza A., Asymmetric Fmri Adaptation Reveals No Evidence For Mirror Neurons In Humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 2009 June 16; 106 ( 24 ) : 9925-30

Liuzza, M. T., Candidi, M., & Aglioti, S. M. (2011). Do not resonate with actions: sentence polarity modulates cortico-spinal excitability during action-related sentence reading. *PloS one*, 6(2), e16855.

Liuzza, M. T., Candidi, M., & Aglioti, S. M. (2012). Non farlo! Negazione linguistica e simulazione delle azioni. *Rivista Italiana di Filosofia del Linguaggio*, 5, 127-136.

Löfqvist, A. And Gracco, V.L. (1994). Tongue Body Kinematics In Velar Stop Production: Influences Of Consonant Voicing And Vowel Context, *Phonetica*, 51, 52-67.

Löfqvist, A. And Gracco, V.L. (2002). Control Of Oral Closure In Lingual Stop Consonant Production, *Journal Of The Acoustical Society Of America*, 111(6), 2811-2827.

Löfqvist A., Lindblom B., Speech Motor Control , Haskins Lab., In "Current Opinion In Neurobiology" 1994, 4: 823-826.

Loh, K.K., Michael, P., William, H.D., Emmanuel, P., Céline, A., (2016). Cognitive control of vocalizations in the primate ventrolateral-dorsomedial frontal(VLF-DMF) brain network. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1–13.

Lindblom, B. (1987, August). Adaptive variability and absolute constancy in speech signals: two themes in the quest for phonetic invariance. In *Proceedings of the XIth International congress of phonetic sciences* (Vol. 3, pp. 9-18).

Lindblom, B. (1990). Explaining phonetic variation: A sketch of the H&H theory. In *Speech production and speech modelling* (pp. 403-439). Springer Netherlands.

Lindblom, B. (1996). Role of articulation in speech perception: Clues from production. *The Journal of the acoustical society of America*, 99(3), 1683-1692.

Løevenbruck H, Dohen M, Vilain C.(2009). Il punteggio è "speciale" In: Fuchs S, Løevenbruck H, Pape D, Perrier P, redattori. Alcuni aspetti del discorso e del cervello. Berlino, Germania: Peter Lang. pp. 211-258.

Lombard, E. (1911). Le signe de l'elevation de la voix, *Annals Maladiers Oreille. Larynx, Nez Pharynx*, 37, 101-119.

Loucks, T.M.J., Poletto, C.J., Simonyan, K., Reynolds, C.L., Ludlow, C.L., (2007). Human-brain activation during phonation and exhalation: common volitional control for two upper airway functions. *Neuroimage* 36(1), 131–143.

Lucas, P. W., Corlett, R. T., & Luke, D. A. (1986). Sexual dimorphism of tooth size in anthropoids. *Human Evolution*, 1(1), 23-39.

Lucas, C. A., Rughani, A., & Hoh, J. F. Y. (1995). Expression of extraocular myosin heavy chain in rabbit laryngeal muscle. *Journal of muscle research and cell motility*, 16(4), 368-378.

Lucas, P. W., Constantino, P. J., & Wood, B. A. (2008). Inferences regarding the diet of extinct hominins: structural and functional trends in dental and mandibular morphology within the hominin clade. *Journal of Anatomy*, 212(4), 486-500.

Lund J. P., Appenteng K. and Seguin J. J. (1982) Analogies and common features in the speech and masticatory control systems. In: *Speech Motor Control* (Edited by Grillner S., Lindblom B., Lubker J. and Persson A.) Pergamon, Oxford.

Lund, J. P., & Kolta, A. (2006). Brainstem circuits that control mastication: Do they have anything to say during speech?. *Journal of communication disorders*, 39(5), 381-390.

Mahon, B. Z., & Caramazza, A. (2008). A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. *Journal of physiology-Paris*, 102(1), 59-70.

Macho, G. A., & Berner, M. E. (1994). Enamel thickness and the helicoidal occlusal plane. *American Journal of Physical Anthropology*, 94(3), 327-337.

McNamara, J. A. (1973). The independent functions of the two heads of the lateral pterygoid muscle. *Developmental Dynamics*, 138(2), 197-205.

MacLarnon, A., Hewitt, G., (1999). The evolution of human speech. *Am. J. Phys. Anthropol.* 109, 341–363.

MacLarnon, A., Hewitt, G., (2004). Increased breathing control: another factor in the evolution of human language. *Evol. Anthropol.* 13, 181–197.

MacNeilage, P. F., Sussman, H. M., Westbury, J. R., & Powers, R. K. (1979). Mechanical properties of single motor units in speech musculature. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 65(4), 1047-1052.

MacNeilage, P. F. (1970). Motor control of serial ordering of speech. *Psychological review*, 77(3), 182.

MacNeilage, P.F., Davis B., (2002), On the origin of intersyllabic complexity. In T. Givon e B. Malle (a.c.d.) the evolution of language out of pre-language, Amsterdam, J. Benjamins Publ., 155-170.

MacNeilage, P. F., & Davis, B. (1990). Acquisition of speech production: Frames, then content.

Macneilage P.F.,(2008). The Origin Of Speech, Oxford University Press, Uk.

MacNeilage P.F., Rogers L J.,(2009). Vallortigara G, L'evoluzione del cervello asimmetrico, Le scienze.

Maeda, S. (1988). Improved Articulatory Model. *J Acoust Soc Am* 81: S146 .

Maeda, S., & Honda, K. (1994). From EMG to formant patterns of vowels: The implication of vowel spaces. *Phonetica*, 51(1-3), 17-29.

Magnani S., *Il Bambino E La Sua Voce. Con I Bambini Alla Scoperta Della Sua Vocalità*, Francoeangeli, Milano, 2008.

Magnani S., *Vivere Di Voce, L'arte Della Manutenzione Della Voce Per Chi Parla, Recita E Canta*, Francoeangeli Ed., Milano, 2010.

Massaro D.W., 1972, "Perceptual images, processing time, and perceptual units in auditory perception", *Psychological Review*, 79, p. 124-145.

Massaro D.W., Oden G.C., 1980, "Speech perception: a framework for research and theory", in Lass, N.J., (ed.) *Speech and language. Advances in basic research and practice*. Vol.3, New York Academic press, p. 129-165.

Massaro D.W., 1994, Psychological aspects of speech perception, in *Handbook of Psycholinguistics* Morton Ann Geinsbacher (ed.), Academic Press Ch.7, p. 219-265.

Mallegni F., *Denti: odontogenesi - evoluzione - struttura - dimensione- forma - funzione*, LTU Guarguaglini, Pisa, 2001.

Marini A.(2008). *Manuale Di Neurolinguistica*, Carrocci Editore. Roma.

Martin,R.D.,(1990).*Primate Origins And Evolution*. Princeton University Press, Princeton.

Mcfarland, D. H. (2001). Respiratory Markers Of Conversational Interaction. *Journal Of Speech, Language, And Hearing Research*, 44, 128–143.

Meldolesi A., *Neuroni A Specchio. La Scoperta Più Sopravvalutata Della Psicologia?* In "La Lettura"-Corriere Della Sera , 15 Giugno 2014.

Ménard, L., Loevenbruck, H., & Savariaux, C. (2006). Articulatory and acoustic correlates of contrastive focus in French children and adults.

Merati, A. L., Bodine, S. C., Bennett, T., Jung, H. H., Furuta, H., & Ryan, A. F. (1996). Identification of a novel myosin heavy chain gene expressed in the rat larynx. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Gene Structure and Expression*, 1306(2), 153-159.

Merker, B., Morley, I., & Zuidema, W. (2015). Five fundamental constraints on theories of the origins of music. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 370(1664), 20140095.

Mermelstein, P. (1973). Articulatory model for the study of speech production. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 53(4), 1070-1082.

Milton, K. "Primate diets and gut morphology: implications for hominid evolution." In Harris M, Ross EB (eds): *Food and Evolution: Toward a Theory of Food Habits*, pp. 93-115. Philadelphia, Temple University Press. 1987.

Moller E.,(1966). The Chewing Apparatus. *Acta Physiologica Scandinavia*, 69( Suppl. 280), 1-229.

Mooshammer, C., Hoole, P., & Kühnert, B. (1995). On loops. *Journal of Phonetics*, 23(1-2), 3-21.

Morabito, C. (2004). *La mente nel cervello. Un'introduzione storica alla neuropsicologia cognitiva*. Laterza, Bari.

Morgan DI, Proske U. 1984. Vertebrate Slow Muscle: I Structure, Pattern Of Innervation And Mechanical Properties. *Physiol. Reviews* 64:103–168.

Moro, A. (2006). *I confine di Babele. Il cervello e il mistero delle lingue impossibili*. Longanesi, Milano.

Munn, C. A. (1986). The deceptive use of alarm calls by sentinel species in mixed-species flocks of neotropical birds. *Deception: Perspectives on human and nonhuman deceit*, 169-176.

Taoka, T., Iwasaki, S., Uchida, H., Fukusumi, A., Nakagawa, H., Kichikawa, K., ... & Ohishi, H. (1998). Age correlation of the time lag in signal change on EPI-fMRI. *Journal of computer assisted tomography*, 22(4), 514-517.



- Napadow, V. J., Kamm, R. D., & Gilbert, R. J. (2002). A biomechanical model of sagittal tongue bending. *Journal of biomechanical engineering*, 124(5), 547-556.
- Newsom Davis, J., & Sears, T. A. The Proprioceptive Reflex Control Of The Intercostal Muscles During Their Voluntary Activation. *Journal Of Physiology*, 209, 711-738.
- Nobile L., (2012) La voce allo specchio. Un'ipotesi sull'interfaccia fonetica-semantica illustrata sulle brevi parole italiane, In "Linguaggio e cervello - Semantica / Language and the brain - Semantics, Chapter": vol. 2, I.D.4., Publisher: Roma: Bulzoni, Editors: in V. Bambini, I. Ricci, P.M. Bertinetto et al, pp.1-27 .
- Nota, Y., & Honda, K. (2004). Brain regions involved in motor control of speech. *Acoustical Science and Technology*, 25(4), 286-289.
- Nottebohm, F., Stokes, T.M., Leonard, C.M., (1976). Central control of song in the canary, *Serinus canarius*. *J. Comp. Neurol.* 165 (4), 457–486,
- Nottebohm, F., (1972). The origins of vocal learning. *Am. Nat.* 106 (947), 116–140.
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive brain research*, 24(2), 190-198.
- Ockleford, E.M., Vince, M.A., Layton, C., and Reader, M.R. (1988), Responses of neonates to parents' and others' voices, . *Early Hum. Dev.* 18, 27–3.
- Ohala, J. Respiratory Activity In Speech. In W. J. & A. M. Hardcastle (Eds.), *Speech Production And Speech Modeling* (Pp. 23-53). The Netherlands: Kluwer., 1990.
- Origlia, A., Cutugno, F., & Galatà, V. (2014). Continuous emotion recognition with phonetic syllables. *Speech Communication*, 57, 155-169.

O'Shaughnessy D., 1987, Speech communication, Human and Machine, cap. 9 "Speech Synthesis", Addison-Wesley publishing, p. 380-412.

Osborn, JW. Helicoidal plane of dental occlusion. Am J Phys Anthropol 1982; 57: 273-281.

Ostry D. .I. and Munhall K. G. (1985) Control of rate and duration in speech. J. Acoust. Sot. Am. 77, 64&648. Ostry D. J., Cooke J. D. and Munhall K. G. (1987) Velocity curves of human arm and speech movements. Expf Brain Res. 68, 3746.

Otten E. (1987) A myocybemetic model of the jaw system of the rat. J. Neurosci. Meth. 21, 287-302.

Ovalle Wk. 1978. Histochemical Dichotomy Of Extrafusil And In Trafusil fibers In An Avian Slow Muscle. Am J Anat 152:587–598.

Ovallewk.1982.Ultrastructura Lduality Of Extrafusil fibers In As Low (Tonic) Skeletal Muscle.Cell Tissue Res 222:261–267.

Pancherz H., Winnberg A. and Westesson P.-L. (1986) Masticatory muscle activity and hyoid bone behavior during cyclic jaw movements in man. Am. J. Orthodonk 89, 122-131.

Patel, A.D., (2003). Language, music, syntax and the brain. Nat. Neurosci. 6 (7),674–681.

Patel, A.D., (2008). Music, Language and the Brain. University Press, Oxford: Oxford.

Pascalis, O., Loevenbruck, H., Quinn, P. C., Kandel, S., Tanaka, J. W., & Lee, K. (2014). On the links among face processing, language processing, and narrowing during development. *Child Development Perspectives*, 8(2), 65-70.

Pavlenko, A. (2012). Affective processing in bilingual speakers: Disembodied cognition?. *International Journal of Psychology*, 47(6), 405-428.

Pellegrino G., Fadiga L., Fogassi L., Gallese V., Rizzolatti G. (1992) Understanding Motor Events: A Neurophysiological Study. *Exp. Brain Res.* 91: 176-180.

Pellizzer, G. (1996). Mental Transformations In The Motor Cortex. *Brain Res. Cogn Brain Res*, 5, 123–130

Penfield, W., Boldrey, E., (1937). Somatic motor and sensory representations in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain* 60, 389–443.

Penfield, W., Rasmussen, T., (1950). *The Cerebral Cortex of Man: A Clinical Study of Localization of Function*. MacMillan, New York.

Pennisi A., Perconti P., *Le Scienze Cognitive Del Linguaggio*, Il Mulino, Bologna, 2006.

Pennisi A, Falzone A, (2011) *la scienza della natura e la natura del linguaggio umano*, Mucchi editore, MO.

Perellò J, 1962 La Théorie Muco-Ondulatoire De La Phonation, *Ann. Oto-Laryngol. Chir. Cervicofac.* 79 (9):722-725.

Perkell J (1969) *Physiology Of Speech Production*. Mit Press, Cambridge, Mass.

Perkell J (1974) *A Physiologically-Oriented Model Of Tongue Activity In Speech Production*. Unpublished Doctoral Dissertation, Department Of Electrical Engineering, Mit.

Perkell J and Klatt D (1986), *Invariance and Variability in Speech Processes*, LEA:Hillsdale, N J.

Perkell, J. S., (2012). Movement goals and feedback and feedforward control mechanisms in speech production, *Journal of Neurolinguistics* 25(5), 382-407.

Perkell, J.S., Svirsky, M.A., Matthies, M.L. And Manzella, J. (1993). On The Use Of Electromagnetic Midsagittal Articulometer (Emma) Systems. *Forschungsberichte Des Instituts*

Für Phonetik Und Sprachliche Kommunikation Der Universität München, 31, 29-42. University Of Munich, Germany.

Perlman, M., Clark, N., (2015). Learned vocal and breathing behavior in anenculturated gorilla. *Anim. Cogn.* 18(5), 1165–1179.

Perrier, P., Payan, Y., Zandipour, M., & Perkell, J. (2003). Influences of tongue biomechanics on speech movements during the production of velar stop consonants: A modeling study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 114(3), 1582-1599.

Petkov CI, Kayser C., Steudel T., Whittingstall K., Augath M., Logothetis NK.,(2008). A voice region in the monkey brain. *Nat. Neurosci.* 11 :367–374.

Petkov, C. I., Logothetis, N. K., & Obleser, J. (2009). Where are the human speech and voice regions, and do other animals have anything like them?. *The Neuroscientist*, 15(5), 419-429.

Pfenning, A.R., Hara, E., Whitney, O., Rivas, M.V., Wang, R., Roulhac, P.L., Howard, J.T., Wirthlin, M., Lovell, P.V., Ganapathy, G., Mounycastle, J., Moseley, M.A., Thompson, J.W., Soderblom, E.J., Iriki, A., Kato, M., Gilbert, M.T.P., Zhang, G., Bakken, T., Bongaarts, A., Bernard. Lein, A.E., Mello, C.V., Hartemink, A.J., Jarvis, E.D., (2014). Convergent transcriptional specializations in the brains of humans and song-learning birds. *Science* 346 (6215).

Pierce, J.D., (1985). A review of attempts to condition operantly allo primate vocalizations. *Primates* 26 (2), 202–213.

Pliszka, B., Strzelecka-Gołaszewska, H., Pantaloni, C., & d'Albis, A. (1981). Comparison of myosin isoenzymes from slow-tonic and fast-twitch fibers of frog muscle. *European journal of cell biology*, 25(1), 144-149.

Pons, F., Lewkowicz, D. J., Soto-Faraco, S., & Sebastián-Gallés, N. (2009). Narrowing of intersensory speech perception in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10598-10602.

Porges, S.W., (2001). The polyvagal theory: phylogenetic substrates of a socialnervous system. *Int. J. Psychophysiol.* 42 (2), 123–146.

Porro, C. A., Francescato, M. P., Cettolo, V., Diamond, M. E., Baraldi, P., Zuiani, C., et al. (1996). Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, 16, 7688–7698.

Prather, J.F., Peters, S., Nowicki, S. & Mooney, R. (2008) Precise auditory-vocal mirroring in neurons for learned vocal communication. *Nature* 451: 305–10.

Pulvermüller, F., Lutzenberger, W., & Preissl, H. (1999). Nouns and verbs in the intact brain: evidence from event-related potentials and high-frequency cortical responses. *Cerebral cortex*, 9(5), 497-506.

Pulvermuller, F., Harle, M., and Hummel, F. (2001). Walking or talking? Behavioral and neurophysiological correlates of action verb processing. *Brain Lang.* 78, 143–168.

Pulvermüller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 576–582.

Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, 21(3), 793-797.

Quinn PC, Anzures G, Izard CE, Lee K, Pascalis O, Slater AM, Tanaka JW. Guardando attraverso i domini per comprendere la rappresentazione infantile dell'emozione. *Emotion Review.* (2011); 3 : 197-206.

Ramachandran, V. S. (2000). Mirror neurons and imitation learning as the driving force behind “the great leap forward” in human evolution.

Ramsay S.C., Adams L., Murphy K., Corfield D.,R., Grootenk, S., Bailey, D.L.,Frackowiak, R.S., Guz, A. (1993). Regional cerebral blood flow during volitional expiration in man: a comparison volitional inspiration. *Journal of Physiology*, 461, 85-101.

Redican W. K (1975) Facial expressions in nonhuman primates. In *Primate Behavior: Developments in Field and Laboratory Research*, vol 2. Edited by Rosenblum LA. New York: Academic Press; 103-194

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. And Fogassi, L. (1996) Premotor Cortex And The Recognition Of Motor Actions. *Cog. Brain Res.*, 3: 131-141.

Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in neurosciences*, 21(5), 188-194.

Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V. And Fogassi, L. (1996) Premotor Cortex And The Recognition Of Motor Actions. *Cog. Brain Res.*, 3: 131-141.

Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 169-192.

Rizzolatti G., Review: Curious Book on Mirror Neurons and Their Myth: The Myth of Mirror Neurons: The Real Neuroscience of Communication and Cognition by Gregory Hickok Reviewed Work: The Myth of Mirror Neurons: The Real Neuroscience of Communication and Cognition by Gregory Hickok Review by: Giacomo Rizzolatti , Corrado Sinigaglia *The American Journal of Psychology* Vol. 128, No. 4 (Winter 2015), pp. 527-533.

Rizzolatti, G., Cattaneo, L., Fabbri-Destro, M., Rozzi, S. (2014) Cortical mechanisms underlying the organization of goal-directed actions and mirror neuron-based action understanding. *Physiol Rev* 94 (2): 655-706.

Rodríguez-Ferreiro, J., Menéndez, M., Ribacoba, R., & Cuetos, F. (2009). Action naming is impaired in Parkinson disease patients. *Neuropsychologia*, 47(14), 3271-3274.

Rorden, C., & Karnath, H. O. (2004). Using human brain lesions to infer function: a relic from a past era in the fMRI age?. *Nature reviews. Neuroscience*, 5(10), 813.

Rossi, P. S., Palmieri, F., & Cutugno, F. (2003). Inversion of F0 model for natural-sounding speech synthesis. In *ICASSP (1)* (pp. 520-523).

Roth, H.L., Heilman, K.M. (2000). Aphasia: a Historical Perspective in S.E. Nadeau, L.J. Gonzales-Rothi & B. Crosson (a cura di), *Aphasia and Language. Theory to Practice*. The Guilford Press, New York, 3-30.

Rotilio G. *L'alimentazione degli ominidi fino alla rivoluzione agropastorale del Neolitico*, in Biondi, G., Martini, F., Rotilio, G., & Rickards, O. (a cura di). *In carne e ossa. DNA, cibo e culture dell'uomo preistorico*. Roma-Bari, Laterza, 2006.

Ruitenbeek, J. C. (1984). Invariants in loaded goal directed movements. *Biological cybernetics*, 51(1), 11-20.

Ruvolo, M. (1997). Genetic diversity in hominoid primates. *Annual Review of Anthropology*, 26(1), 515-540.

Sai, F. Z. (2005). The role of the mother's voice in developing mother's face preference: Evidence for intermodal perception at birth. *Infant and Child Development*, 14(1), 29-50.

Sanchez – Villagra M.R., *Embrionni nel tempo profondo: il registro paleontologico dell'evoluzione*, Firenze University Press, 2014.

Salimbeni C. E Alajmo E. (1982) Inferior Glottoscopy: A New Approach To The Problem Of Phonation, *The Journal Of Laryngology And Otology*, 96-1013.

Sanders I, Han Y, Wang J, Biller Hf. (1998a). Muscle Spindles Are Concentrated In The Superior Vocalis sub-Compartment Of The Human Thyroarytenoid Muscle. *J voice* 12:7–16.

Sanders, I., Wu, B. L., & Biller, H. F. (1994). Phonatory specialization of human laryngeal muscles. *Trans Am Laryngol Assoc*, 115, 153.

Sanders I, Rai S, Han Y, Biller Hf. (1998b). Human Vocalis Contains Distinct Superior And Inferior Subcompartments: Possible Candidates For The Two Masses Of Vocal Fold Vibration. *Otol Rhinol Laryngol* 107:826–833.

Sanguineti, V., Laboissiere, R., & Payan, Y. (1997). A control model of human tongue movements in speech. *Biological cybernetics*, 77(1), 11-22.

Sarnat B.G.,(1964). *The Temporomandibular Joint*, 2nd Edition. Springfield: Thomas.

Savy, R., & Cutugno, F. (1998). Hypospeech, vowel reduction, centralization: how do they interact in diaphasic variations. In *Proceedings of the XVIth International Congress of Linguists*.

Schieber, M. H. (2000). New views of the primary motor cortex. *The Neuroscientist*, 6(5), 380-389.

Scherer K.R., (1986), Vocal Affect Expression: A Review and Model for Future Research, 'Psychological Bulletin', 99, pp. 143-165.

Schoenemann, P.T., (2006). Evolution Of The Size And Functional Areas Of The Human Brain. *Annu. Rev. Anthropol.* 35, 379-406.

Schoenemann, P.T., Sheehan, M., Glotzer, L., (2005). Prefrontal White Matter Volume Is Disproportionately Larger In Humans Than In Other Primates. *Nat. Neurosci.* 8, 242-252.



Schuman, E. L., & Sognaes, R. F. (1956). Developmental microscopic defects in the teeth of subhuman primates. *American journal of physical anthropology*, 14(2), 193-214.

Schwartz, J. L., Boe, L. J., & Abry, C. (2007). Linking the dispersion-focalization theory (DFT) and the maximum utilization of the available distinctive features (MUAF) principle in a perception-for-action-control theory (PACT). In M. J. Sole, P. Beddor, & M. Ohala (Eds.), *Experimental approaches to phonology* (pp. 104–124). Oxford University Press.

Scott, S. H., & Kalaska, J. F. (1997). Reaching movements with similar hand paths but different arm orientations. I. Activity of individual cells in motor cortex. *Journal of neurophysiology*, 77(2), 826-852.

Scott, S. H. (1997). Comparison of onset time and magnitude of activity for proximal arm muscles and motor cortical cells before reaching movements. *Journal of Neurophysiology*, 77(2), 1016-1022.

Semendeferi, K., & Damasio, H. (2000). The brain and its main anatomical subdivisions in living hominoids using magnetic resonance imaging. *Journal of Human Evolution*, 38(2), 317-332.

Semendeferi, K., Armstrong, E., Schleicher, A., Zilles, K., & Van Hoesen, G. W. (2001). Prefrontal cortex in humans and apes: a comparative study of area 10. *American journal of physical anthropology*, 114(3), 224-241.

Semendeferi, K., Damasio, H., Frank, R., & Van Hoesen, G. W. (1997). The evolution of the frontal lobes: a volumetric analysis based on three-dimensional reconstructions of magnetic resonance scans of human and ape brains. *Journal of human evolution*, 32(4), 375-388.

Semendeferi, K., Lu, A., Schenker, N., Damasio, H., (2002). Humans And Great Apes Share A Large Frontal Cortex. *Nat. Neurosci.* 5, 272-276.

Sicher H. & Dubrul E.L., *Oral Anatomy*, 6th Ed., St. Louis: Mosby, 1976.

Simonyan, K., Ostuni, J., Ludlow, C.L., Horwitz, B., (2009). Functional but not structural networks of the human laryngeal motor cortex show left hemispheric lateralization during syllable but not breathing production. *J. Neurosci.* 29(47), 14912–14923.

Simonyan, K., (2014). The laryngeal motor cortex: its organization and connectivity. *Curr. Opin. Neurobiol.* 28, 15–21.

Shokey L., Reddy R., (1974), “Quantitative analysis of speech perception: results from transcription of connected speech from unfamiliar languages” Paper presented at the Speech Communication Seminar” ag.1974, Stockholm.

Skipper, J. I., Van Wassenhove, V., Nusbaum, H. C., & Small, S. L. (2007). Hearing lips and seeing voices: how cortical areas supporting speech production mediate audiovisual speech perception. *Cerebral Cortex*, 17, 2387–2399.

Simpson S. (1979). The Distribution Of Tonic And Twitch Muscle fibers In The Avian Wing. *Am. Zoologist* 19:929.

Simpson, A. P. (1992). Casual speech rules and what the phonology of connected speech might really be like. *Linguistics* 30: 535-548.

Smith, A. (1997). Dynamic interactions of factors that impact speech motor stability in children and adults. *W. Hulstijn, HFM Peters & PHHM van Lieshout (op. cit.)*, 143-150.

Smith, A., Goffman, L. (2004), Interaction Of Motor And Language Factors In Development Of Speech Production, In *Speech Motor Control In Normal And Disordered Speech*, (B.-Maassen, R.D. Kent, H.F.M. Peters, P.H.H.M. Van Lieshout & W. Hulstijn, Editors), Oxford: Oxford University Press, 227-252.

Smith, A. (2006). Speech motor development: Integrating muscles, movements, and linguistic units. *Journal of communication disorders*, 39(5), 331-349.

Smith, A., Goffman, L., Zelaznik, H., Ying, G., Mcgillen, C. (1995), Spatiotemporal Stability And Patterning Of Speech Movement Sequences, *Experimental Brain Research*, 104, 493-501.

Smith A. (2006). Speech Motor Development: Integrating Muscles, Movements, And Linguistic Units, In "Journal Of Communication Disorder", 39, 331-349.

Soechting J. F. (1984) Effect of target size on spatial and temporal characteristics of a pointing movement in man. *Expl Brain Res.* 54, 121-132.

Sohrabji, F., Nordeen, E.J., Nordeen, K.W., (1990). Selective impairment of songlearning following lesions of a forebrain nucleus in the juvenile zebra finch. *Behav. Neural Biol.* 53(1), 51–63.

Somma F., *Endodozia. Di base, procedure operative e tecniche*, Masson Spa, Milano, 2006.

Sonesson B,(1960),*On The Anatomy And Vibratory Pattern Of The Human Vocal Folds. With Special Reference To A Photo-Electrical Method For Studying The Vibratory Movement*, *Acta Otolaryngol Suppl.*, 156.

Sousa, A.A., Sherwood, C.C., Mohlberg, H., Amunts, K., Schleicher, A., Macleod, C.E., Hof, P.R., Frahm, H., Zilles, K., 2010. Hominoid Visual Brain Structure Volumes And The Position Of The Lunate Sulcus. *J. Hum. Evol.* 58, 281-292.

Spinoza, Baruch (1677/1988), *Etica. Dimostrata Con Metodo Geometrico*, Rome, Editori Riuniti.

Sporns, O., Zwi, J.D., (2004). The small world of the cerebral cortex. *Neuroinformatics* 2, 145–162.

Sporns, O., (2006). Small-world connectivity, motif composition: and complexity of fractal neuronal connections. *Biosystems* 85, 55–64.

Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D. W., ... & Mitchell, M. A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, 428(6981), 415-418.

Stager, C. L., & Werker, J. F. (1997). Infants listen for more phonetic detail in speech perception than in word-learning tasks. *Nature*, 388(6640), 381.

Stein R. B., Cody F. W. J. and Capaday C. (1988) The trajectory of human wrist movements. *J. Neurophysiol.* 59, 1814-1830.

Stevens K.N., House A.S., 1967 “Remarks on Analysis by Synthesis and Distinctive Features”, in Wathen-Dunn W (ed.) *Models for Perception of Speech and Visual Form*, Cambridge Massachussets, p. 88-102.

Stevens K.N., House A.S.,(1972), “Speech Perception”, in Tobias J.V (ed.) *Foundations of Modern Auditory Theory* New York, vol.2, p. 3-62.

Suzuki, W., Banno, T., Miyakawa, N., Abe, H. & Ichinohe, N. (2013) Encoding others' action by temporal-frontal circuit including mirror system in marmoset. *Proceeding of Society for Neuroscience* 738.07/JJ18.

Suwa G, Kono R, Simpson S, Asfaw B, Lovejoy C, White T.(1996). Paleobiological implications of the *Ardipithecus ramidus* dentition. *Science*; 236:94-99.

Swindler D.R., *Primate Dentition: an introduction of teeth of non – human*, Cambridge University Press, 2002.

Talairach, J. & Tournoux, P. Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain. Thieme Medical, New York, 1988.

Takemoto, H. (2001). Morphological Analyses Of The Human Tongue Musculature For Threedimensional Modeling. *Journal Of Speech, Language, And Hearing Research*, 44, 95-107.

Tartabini, A., Giusti, F. (2006). Origine ed evoluzione del linguaggio: scimpanzé, ominidi e uomini moderni. Liguori Editore, Napoli.

Taylor, L. J., & Zwaan, R. A. (2008). Motor resonance and linguistic focus. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 896-904.

Tettamanti, M., Buccino, G., Saccuman, M. C., Gallese, V., Danna, M., Scifo, P., & Perani, D. (2005). Listening to action-related sentences activates fronto-parietal motor circuits. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(2), 273-281.

Tettamanti, M., Manenti, R., Della Rosa, P. A., Falini, A., Perani, D., Cappa, S. F., & Moro, A. (2008). Negation in the brain: Modulating action representations. *Neuroimage*, 43(2), 358-367.

Théoret, H., & Pascual-Leone, A. (2002). Language acquisition: do as you hear. *Current Biology*, 12(21), R736-R737.

Thexton A., Wallace J. and Ebbs S. (1976). Human jaw and hyoid movement. *J. dent. Res.* 55, D125.

Tinbergen, N. (1952). " Derived" activities; their causation, biological significance, origin, and emancipation during evolution. *The Quarterly review of biology*, 27(1), 1-32.

Tobias, P. V. (1980). The natural history of the helicoidal occlusal plane and its evolution in early Homo. *American journal of physical anthropology*, 53(2), 173-187.

- Tomasino, B., Skrap, M., and Rumiati, R. I. (2011). Causal role of the sensorimotor cortex in action simulation: neuropsychological evidence. *J. Cogn. Neurosci.* 23, 2068–2078.
- Tomasino, B., Borroni, P., Isaja, A., and Rumiati, R. I. (2005). The role of the primary motor cortex in mental rotation: a TMS study. *Cogn. Neuropsychol.* 22, 348–363.
- Tomasino, B., Weiss, P. H., & Fink, G. R. (2010). To move or not to move: imperatives modulate action-related verb processing in the motor system. *Neuroscience*, 169(1), 246-258.
- Tomasino, B., and Rumiati, R. I. (2013). At the mercy of strategies: the role of motor representations in language understanding. *Front. Psychol.* 4:27.
- Tomasino, B., & Gremese, M. (2016). Effects of stimulus type and strategy on mental rotation network: an activation likelihood estimation meta-analysis. *Frontiers in human neuroscience*, 9, 693.
- Townsend, S., Zuberbuhler, K., (2009). Audience effects in chimpanzee copulation calls. *Commun. Integr. Biol.* 2 (3), 282–284.
- Thumfart, W.F., Pototschnig, C., Zorowka, P., Eckel, H.E., (1992). Electrophysiologic investigation of lower cranial nerve diseases by means of magnetically stimulated neuromyography of the larynx. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 101,629–634.
- Thumfart, W.F.,(1988). Electrodiagnosis of laryngeal nerve disorders. *Ear Nose Throat J.* 67, 380–393.
- Trainor, L. J., Marie, C., Gerry, D., Whiskin, E., & Unrau, A. (2012). Becoming musically enculturated: effects of music classes for infants on brain and behavior. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 129-138.
- Trehub, S. E. (1973). Infants' sensitivity to vowel and tonal contrasts. *Developmental Psychology*, 9(1), 91.

Tsao D.,Y., Freiwald W.,A., Tootell R.,B.,H.(2006). Livingstone MS A cortical region consisting entirely of face-selective cells. *Science*,311 :670–674.

Tuller, B., Harris, K. S., & Gross, B. (1979). Electromyographic study of the jaw muscles during speech. *Status Report on Speech Research SR59*, 60, 83-102.

Turkeltaub, P.E., Eden, G.F., Jones, K.M., Zeffiro, T.A., (2002). Meta-analysis of the functional neuroanatomy of single-word reading: method and validation. *Neuroimage* 16(3), 765–780.

Ubelaker, D. (1978). *Human Skeletal Remains. Excavation, Analysis, Interpretation*. Smithsonian Institution. *D. Ubelaker*.

Ubelaker, D.H.(1989). *Human skeletal remain*, 2nd ed., Traxacum Press, Washington D.C.

Van den Berg, J. (1958). Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 1(3), 227-244.

Vernon Reynolds, *La Biologia Dell'azione Umana*, Est Mondadori, Milano 1978.

Vihman, M. M. (1996). *Phonological development: The origins of language in the child*. Blackwell Publishing.

Vogel, M., Monesson, A., & Scott, L. S. (2012). Building biases in infancy: The influence of race on face and voice emotion matching. *Developmental science*, 15(3), 359-372.

Vygotskij, L.S. (1978), *Mind in Society. The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge (Mass.) – London: Harvard University Press, [trad. it. *Il processo cognitivo*, Torino: Bollati Boringhieri, 2002].

Walker, A.E., Green, H.D., (1938). Electrical excitability of the motor face area: a comparative study in primates. *J. Neurophysiol.* 1, 152–165.

Walker, S.F., (1994). The possible role of asymmetric laryngeal innervation in language lateralization: points for and against. *Brain Lang.* 46, 482–489.

Wang J., Han Y, Sanders I. 1998. The Superior Vocalis Of The Human Thyroarytenoid Muscle Contains A Specialized And Possibly Unique Muscle fiber Architecture. *Bulletin Am Academy Of Otolaryngol Head Neck Surgery* 17:49.

Ward, B.C., Nordeen, E.J., Nordeen, K.W. (1998). Individual variation in neuron number predicts differences in the propensity for avian vocal imitation. *Proc.Natl. Acad. Sci.* 95, 1277–1282.

Ward, C., Leakey, M., & Walker, A. (1999). The new hominid species *Australopithecus anamensis*. *Evol. Anthropol*, 7.

Ward C.V, Leakey M.G., Walker A.(2001). Morphology of *Australopithecus anamensis* from Kanapoi and Allia Bay, Kenya. *J Hum Evol.*;41:255-368.

Washburn, M. F. (1914). The function of incipient motor processes. *Psychological Review*, 21(5), 376.

Washburn M. F., *Movement And Mental Imagery: Outlines Of A Motor Theory Of The Complexer Mental Processes*. Boston: Houghton Mifflin; 1916.

Weikum, W. M., Vouloumanos, A., Navarra, J., Soto-Faraco, S., Sebastián-Gallés, N., & Werker, J. F. (2007). Visual language discrimination in infancy. *SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-*, 316(5828), 1159.

Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant behavior and development*, 7(1), 49-63.

Werker, J. F., & Tees, R. C. (1999). Influences on infant speech processing: Toward a new synthesis. *Annual review of psychology*, 50(1), 509-535.



White, T. D., Asfaw, B., Beyene, Y., Haile-Selassie, Y., Lovejoy, C. O., Suwa, G., & Wolde-Gabriel, G. (2009). *Ardipithecus ramidus* and the paleobiology of early hominids. *science*, 326(5949), 64-86.

Wicker, B., Keysers, C., Plailly, J., Royet, J.P., Gallese, V. & Rizzolatti, G. (2003) Both of us disgusted in My insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron*, 40 (3) : 655-64.

Wich, S., Swartz, A., Hardus, K.B., Lameira, M.E., Stromberg, A.R., Shumaker, E.,(2009). A case of spontaneous acquisition of a human sound by an orangutan. *Primates* 50 (1), 56–64.

Wich, S.A., Krützen, M., Lameira, A.R., Nater, A., Arora, N., Bastian, M.L., Meulman, E., Morrogh-Bernard, H.C., Utami Atmoko, S.S., Pamungkas, J., Perwitasari-Farajallah, D., Hardus, M.E., van Noordwijk, M., van Schaik, C.P.,(2012). Call cultures in orang-utans? *PLoS One* 7 (5), 1–9.

Willems, R. M., & Casasanto, D. (2011). Flexibility in embodied language understanding. *Frontiers in Psychology*, 2.

Wise, S. P., and Murray, E. A. (2000). Arbitrary associations between antecedents and actions. *Trends Neurosci.* 23, 271–276.

Wood, B.A., Stack C.G. Does allometry explain the differences between ‘gracile’ and ‘robust’ australopithecines? *Am J Phys Anthropol* 1980; 52: 55–62.

Yemm R., The Orderly Recruitment Of Motor Units Of The Masseter And Temporalis Muscles During Voluntary Isometric Contraction In Man. In “*Journal Of Physiology*”, London, 265, 163-174 .

Zhang Y, Rushbrook Ji, Shafiq Sa. 1985. Avian Adductor Profundus Muscle: Characterization Of A Pure Slow Tonic Region By Histochemical, Monoclonal Antibody And Peptide Mapping Studies. *J Muscle Res Cell Motil* 6:333–345.

Zmarich C., Danelon L., Lonardi F., (2005) L'indice Spazio-Temporale(Sti): Nuovo Strumento Per Valutare La Stabilità Articolare Nel Parlato, In Così P. (Ed) Misura Dei Parametri, Atti Del 1° Convegno Nazionale Dell'associazione Italiana Di Scienze Della Voce (Aisv) Padova, 2-4 Dicembre, 2004, Edk Editore, Brescia , 377-388.

Zwaan, R. A., Taylor, L. J., & De Boer, M. (2010). Motor resonance as a function of narrative time: Further tests of the linguistic focus hypothesis. *Brain and Language*, 112(3), 143-149.

Zwaan, R. A. (2014). Embodiment and language comprehension: reframing the discussion. *Trends in cognitive sciences*, 18(5), 229-234.

Zilberman, U., & Smith, P. (1992). A comparison of tooth structure in Neanderthals and early Homo sapiens sapiens: a radiographic study. *Journal of anatomy*, 180(Pt 3), 387.