

Metriche vocaliche nel parlato 'disturbato': persone Down e non udenti a confronto.

Patrizia Sorianello

RIASSUNTO

Questo studio prende in esame la relazione tra l'intelligibilità verbale e la compromissione dell'articolazione vocale. Diverse metriche vocaliche, tra cui VSA, FCR, VAI, F1 e F2Ratio, normalmente impiegate per l'analisi acustica del parlato disartrico, sono state applicate a tre diversi gruppi sperimentali di lingua italiana: 1) giovani con Sindrome di Down, 2) persone affette da sordità profonda, 3) soggetti di controllo. I risultati provano che i disartrici mostrano uno spazio vocalico più piccolo, sia nel *range* di F1 che in quello di F2, e una significativa riduzione dell'intelligibilità verbale. Tutte le metriche testate sono in grado di differenziare i soggetti disartrici dal gruppo di controllo. Tuttavia, FCR e F1Ratio falliscono nel distinguere le persone Down dai sordi.

PAROLE CHIAVE

Intelligibilità verbale, Metriche vocaliche, Sindrome di Down, Sordità.

ABSTRACT

This study examines the relationship between speech intelligibility and impairment of vowel articulation. Several vocalic metrics, such as VSA, FCR, VAI, F1Ratio and F2Ratio, normally employed for the acoustic analysis of dysarthric speech, have been applied to three different Italian experimental groups: 1) young individuals with Down's Syndrome, 2) people with profound hearing impairment, 3) healthy control subjects. The results proved that dysarthric subjects display a smaller vocalic space, both in the range of F1 and F2, than ordinary people and a relevant reduction in speech intelligibility.

1. Introduzione

Molte patologie del linguaggio implicano un disturbo dell'articolazione che assume forme diverse, a seconda dell'eziologia e delle cause che la inducono. Si tratta spesso di una vera incapacità di compiere gesti efficaci sul versante comunicativo, dovuta a malattie o traumi a carico degli organi articolatori, a disturbi neurologici, come pure a un controllo motorio deficitario. In questo quadro si collocano diverse patologie del linguaggio di natura motoria, causa di disordini fonetici e fonologici. Una tra le più ricorrenti è la disartria. Tale disturbo, nelle sue svariate manifestazioni, atassica, ipocinetica, ipercinetica, spastica, flaccida e mista, compromette l'articolazione del linguaggio, ma non la sua comprensione (per un approfondimento, Duffy, 2005). Si tratta di un disturbo dal quadro clinico eterogeneo, non associato a *deficit* cognitivi, in cui l'esecuzione dei gesti articolatori è compromessa da una serie di danni neurologici, motori o anche anatomo-funzionali, ad es. palatoschisi, paresi, dimorfologie della laringe o oro-buccali, che inficiano tanto la funzione fonatoria, quanto quella respiratoria. Tale disturbo può essere genetico, come nella disartria infantile, o secondario; forme di parlato disartrico si rinvencono, ad esempio, in varie forme di sclerosi, in caso di *ictus* e di paralisi cerebrale. Tra gli aspetti più ricorrenti del parlato disartrico occorre menzionare la presenza di una produzione fonetica alterata e spesso inconsistente, un ridotto repertorio di fonemi, la difficoltà di combinare suoni in sequenza, insieme ad una modalità fonatoria, ritmico-prosodica e elocutiva alterata. L'inevitabile risultato di questo quadro articolatorio profondamente inficiato è la presenza di una scarsa intelligibilità verbale.

2. Le metriche vocaliche

Pur nella variabilità dei tratti, numerosi studi concordano nel riconoscere la produzione di vocali 'distorte' come una delle manifestazioni costanti di un parlato inintelligibile. Sulla produzione vocalica dei soggetti disartrici è ormai disponibile una copiosa letteratura, i risultati attestano, in modo piuttosto omogeneo, la presenza di un sistema vocalico ridotto, associato ad un elevato grado di centralizzazione timbrica (tra gli altri, Kent *et al.*, 1999;

Weismer *et al.*, 2001; Higgins & Hodge; 2002; Liu *et al.*, 2005). Le ricerche hanno dimostrato la presenza di una stretta correlazione tra intelligibilità e dimensione dei piani formantici delle vocali. In particolare, le persone disartriche presentano un'area vocalica compressa con significativi spostamenti articolatori dei *target* vocalici. La rappresentazione dei piani formantici tramite diagrammi cartesiani riesce ad evidenziare solo gli aspetti più generali e macroscopici di questo processo, mostrandosi inadeguata nel quantificare le differenze tra parlato disartrico e parlato non disartrico. Da qualche anno, per ovviare a tale limite, si è proceduto sempre più spesso con il calcolo della *Vowel Space Area (VSA)* o Area dello Spazio Vocalico. Questa metrica, espressa in Hz^2 , calcolata secondo la formula riportata in (1), rappresenta l'area del poligono irregolare definito dalle prime 2 formanti delle vocali cardinali /i a u/.

$$(1) \text{ VSA: } [(F1i (F2a-F2u) + F1a (F2u-F2i) + F1u (F2i-F2a)]/2$$

VSA è stata impiegata lungo diverse direttrici di ricerca. La metrica si è rivelata efficace nel distinguere il parlato controllato (*clear speech*) da quello informale e trascurato (*unclear speech*); in geolinguistica *VSA* è stata invece applicata in modo comparativo per meglio definire le differenze presenti nei sistemi vocalici di subvarietà regionali o dialettali (Jacewicz *et al.*, 2007). Relativamente ai disturbi dell'articolazione, *VSA* esprime il grado di accuratezza articolatoria con cui sono prodotte le vocali. L'ipotesi di fondo è che lo spazio vocalico delle persone disartriche sia più ristretto rispetto a quello dei soggetti di controllo. Una *VSA* sottodimensionata è stata riscontrata in una serie numerosa di disturbi neurologici, primari o secondari, in cui la coordinazione, la sincronizzazione, la velocità dei gesti articolatori, risultano instabili ed alterati, tra cui Morbo di Parkinson, Sindrome Laterale Amiotrofica (SLA), paralisi cerebrale, Sindrome di Down, ma anche in caso di tracheotomia e glossectomia. Si tratta di specifiche condizioni cliniche in cui la precisione e la coordinazione dei gesti della lingua e della mandibola, insieme al grado di controllo motorio e laringeo sono profondamente alterati; ciò determina un significativo restringimento dello spazio articolatorio, con ovvia sovrapposizione dei timbri che tendono a convergere verso il centro del sistema vocalico. L'impiego di *VSA* ha pertanto lo scopo di quantificare le alterazioni che un sistema vocalico subisce in presenza di un malfunzionamento articolatorio; diversi studi hanno dimostrato come *VSA* possa essere considerata una metrica predittiva del grado di intelligibilità verbale, un valido *discrimen* tra il parlato disartrico e quello normotipo (Weismer *et al.* 2001; Higgins & Hodge 2002; Liu *et al.* 2005).

In alcune ricerche, tuttavia, l'efficacia descrittiva di *VSA* si è rivelata piuttosto debole. Ad esempio, la metrica non distingue in modo sistematico pazienti con un diverso tipo di disartria (sclerosi multipla vs. SLA), altre volte non separa in modo netto neppure i pazienti disartrici dai controlli (Lansford & Liss, 2014). Diverse sono le ragioni a cui è stato attribuito tale fallimento predittivo. Innanzitutto, si osserva che l'area viene calcolata il più delle volte considerando solo i tre timbri vocalici cardinali e non l'intero sistema¹; le vocali di riferimento sono inoltre per lo più pronunciate in isolamento. A ciò si aggiungono le numerose differenze interindividuali presenti nei campioni di volta in volta analizzati, come ad esempio quelle anatomiche o di postura articolatoria, oltre ai condizionamenti più prevedibili di genere ed età (Sapir *et al.* 2010, 2011; Sandoval *et al.* 2013). Sono essenzialmente queste le motivazioni per cui da qualche anno, il computo di *VSA* è integrato con quello di altre metriche vocaliche, ritenute dei marcatori clinici più efficaci per neutralizzare le differenze tra parlanti. Si tratta nello specifico del *Rapporto di*

¹ Alcune recenti ricerche hanno per questo computato una *VSA* pentagonale, calcolata su 5 timbri (Fougeron & Audibert, 2011).

Centralizzazione Vocalica (Formant Centralization Ratio, FCR), del suo valore inverso, ovvero l'*Indice di Articolazione Vocalica (Vowel Articulation Index, VAI)*, le cui formule sono rispettivamente riportate in (2) e (3).

$$(2) FCR = (F2u + F2a + F1u + F1i) : (F2i + F1a)$$

$$(3) VAI = (F2i + F1a) / (F2u + F2a + F1u + F1i)$$

A differenza di *VSA*, *FCR* e *VAI* permettono di normalizzare una vasta serie di differenze interlocutore. Nella lingua angloamericana il valore normotipo di entrambi è pari a 1, valori più alti di *FCR* o, viceversa, valori di *VAI* inferiori a 1, sono di norma rilevati nell'articolazione disartrica, permettendo così la distinzione con i soggetti di controllo.

Il quadro descrittivo è arricchito anche dal computo di altre due metriche: *F1a/(F1i+F1u) Ratio* e *F2i/F2u Ratio*. Il primo quantifica, sotto forma di rapporto, l'entità dei movimenti compiuti lungo il parametro dell'altezza vocalica; il valore di tale metrica è direttamente proporzionale al grado di apertura della bocca e all'abbassamento della mandibola; indici bassi documentano pertanto la presenza di un asse vocalico ridotto, anteriore o posteriore. Il secondo concorre invece a quantificare la distanza articolatoria tra le due vocali cardinali /i/ e /u/, valutando la dinamica articolatoria che si compie lungo la dimensione antero-posteriore e la differenza tra suoni arrotondati e non arrotondati; il rapporto è basso in presenza di centralizzazione vocalica, alto in presenza di movimenti accurati.

3. I gruppi sperimentali

In questa ricerca prenderemo in esame la produzione linguistica relativa a due forme di 'lingua patologica': la Sindrome di Down e la sordità. Si tratta di disturbi molto diversi tra loro, con manifestazioni specifiche, essendo il primo contrassegnato da *deficit* cognitivo, il secondo da *deficit* sensoriale. Pur nella loro diversità, entrambe le disabilità mostrano un'alterazione significativa del linguaggio e risultano contrassegnate da diffusa inintelligibilità verbale. Le due patologie saranno brevemente descritte, ponendo l'attenzione sulla produzione delle vocali e sui risultati ottenuti dall'applicazione di alcuni indici vocalici. La Sindrome di Down (da ora SD) ha un'origine genetica ed è associata ad un ritardo mentale medio-grave. Il profilo linguistico della SD è, per molti aspetti, peculiare (tra gli altri, Nadel, 1988; Do & Thomson 2001; Penz & Moran, 2008; Kent & Vorperian, 2013, per l'italiano si vedano Contardi e Vicari, 1998; Sorianello, 2012). Il malfunzionamento del linguaggio è ascrivibile sia a cause centrali, come il ritardo cognitivo, l'alterazione della capacità mnemonica, la difficoltà di programmazione motoria, sia a cause periferiche, tra cui l'ipotonìa muscolare, le anomalie craniche e facciali, la macroglossia, la presenza di un ridotto *range* labiale e mandibolare. Si tenga tuttavia conto che i Down acquisiscono il linguaggio spontaneamente, sebbene le tappe di sviluppo siano ritardate nel tempo rispetto ai normofasici. Le persone con SD mostrano una ridotta intelligibilità verbale che, pur attenuata dalle terapie logopediche, non risulta mai del tutto compensata nel corso della loro vita. Con riferimento esplicito alle metriche descritte (§ 2), gli esiti empirici, sebbene eterogenei per disegno sperimentale, provano come nella SD il valore di *VSA* sia sempre inferiore rispetto ai soggetti di controllo. Su questa tematica, accanto ad alcuni risultati sull'angloamericano sono disponibili anche dati su Down italiani. L'entità della riduzione vocalica non è tuttavia direttamente confrontabile, a causa di difformità metodologiche, e va pertanto valutata con una certa cautela. Per l'angloamericano, Bunton & Leddy (2011) osservano come *VSA*, calcolata su un campione di monosillabi realizzati in isolamento e su quattro vocali, sia inferiore di circa il 25% rispetto al gruppo di controllo; per l'italiano lo scarto non solo è maggiore, ma risente del condizionamento di stile, attestandosi mediamente intorno al 37% in un corpus di parole

isolate, ma al 28% nel parlato descrittivo; si consideri però che in questo studio *VSA* è computata su tre vocali (Soriano, 2015; 2017).

Diverso il quadro clinico relativo alla sordità. Le persone non udenti (da ora NU) presentano un danno di natura sensoriale a carico del livello centrale o periferico (sordità neurosensoriale o trasmissiva), che può essere primario o secondario. Lo studio del linguaggio vocale delle persone sorde costituisce una tematica complessa. In primo luogo, occorre distinguere l'entità del *deficit* sensoriale: in base al residuo di udito la sordità è lieve, media o profonda. In secondo luogo, va considerato il periodo in cui la sordità si manifesta; a tale riguardo si distinguono sordi pre-linguali, se la sordità è congenita o insorge nel primo anno di vita, sordi peri-linguali se si manifesta tra il primo e il terzo anno di vita, e sordi post-linguali, quando invece la sordità subentra dopo l'acquisizione del linguaggio, ovvero dopo i tre anni². Le conseguenze sul piano linguistico e comunicativo appaiono diversificate e profondamente legate alla tipologia, all'entità e al trattamento della sordità medesima (Caselli *et al.*, 2006).

In termini generali, la sordità incide sulla comprensione e sulla produzione del linguaggio, con significative ripercussioni sullo sviluppo neurocognitivo, oltre che relazionale. L'assenza di un *feedback* uditivo interferisce con il controllo motorio richiesto per produrre il linguaggio articolato. Di conseguenza, in presenza di sordità profonda pre-linguale, il linguaggio orale, non acquisito spontaneamente fin dai primi mesi di vita, è profondamente alterato, la qualità dei suoni articolati è degradata, gli schemi ritmici, intonativi e elocutivi sono infine inadeguati, come pure la modalità fonatoria, caratterizzata da eccessiva tensione glottidale e diffusa nasalità (Monsen, 1976; Rahilly, 2013). Con specifico riferimento alle vocali, il sistema è ristretto, le sovrapposizioni timbriche numerose; nel complesso le vocali alte sono più deteriorate rispetto a quelle basse, frequente è pure l'anteriorizzazione delle vocali posteriori e la neutralizzazione dei timbri più periferici (Angelocci *et al.*, 1964; Yasuyoshu & Yoshino, 1989; Barzagli *et al.*, 2008; Ozbič & Kogovšek, 2008; Nicolaidis & Sfakianaki, 2016). Gli studi che hanno adottato *VSA*, o altre metriche vocaliche, per la descrizione del sistema vocalico dei NU sono scarsi. Il valore di *VSA* è stato calcolato per lo più in soggetti sordi con impianto cocleare (Neumeyer *et al.*, 2010; Baudonck *et al.*, 2011). I risultati sono tuttavia significativi. In questa direzione, Lofqvist *et al.* (2010) riferiscono che l'area vocalica di sordi svedesi impiantati sia nettamente più piccola e deviata rispetto a quella degli udenti di controllo, le alterazioni sarebbero evidenti anche a distanza di cinque anni dall'impianto, come dimostra una recente ricerca condotta su bambini belgi (Verhoeven *et al.*, 2016). Su questa specifica tematica, non vi sono dati sperimentali relativi a sordi italiani³.

4. La ricerca

4.1 Finalità

La finalità primaria di questa ricerca è stata quella di verificare se lo spazio vocalico tonico delle persone con ridotta intelligibilità fosse differenziato da quello delle persone normotipo. Per perseguire tale obiettivo, abbiamo considerato più metriche vocaliche (*VSA*, *FCR*, *VAI*, *F1Ratio*, *F2Ratio*) e tre diversi gruppi sperimentali SD, NU e controlli (GC) (*ultra*, § 4.2). La ricerca ha inteso accertare innanzitutto l'entità della riduzione dei sistemi vocalici in parlanti

² In questo quadro, già variegato, occorre inoltre menzionare, da un lato, i possibili trattamenti biotecnologici tesi a mitigare il danno sensoriale, come ad esempio l'uso di protesi acustiche o, quando possibile, l'applicazione precoce di un impianto cocleare; dall'altro, i metodi di riabilitazione cui il sordo è sottoposto: approccio orale, misto o bimodale, bilingue; quest'ultimo prevede l'apprendimento di una lingua dei segni (LIS).

³ Sono invece disponibili ricerche sulla categorizzazione di coppie di vocali da parte di bambini sordi italiani impiantati (Garrapa *et al.*, 2013) e descrizioni acustiche lineari del sistema vocalico (F1/F2), (Pellegrino *et al.*, 2015).

italiani con manifestazioni linguistiche patologiche, una lingua scarsamente indagata per verifiche di questo tipo. In merito a questo aspetto, l'ipotesi di lavoro è che nel parlato 'clinico' il comportamento delle vocali sia differente, essendo l'eloquio alterato e poco intelligibile.

In secondo luogo, si è voluto accertare l'efficacia descrittiva delle metriche adottate ai fini della distinzione dei tre gruppi sperimentali. Si tratta di parametri espressamente postulati, lo ricordiamo, per l'analisi delle forme disartriche, quindi non applicabili a priori, con la stessa affidabilità metodologica, per tutte le patologie linguistiche. A questo proposito, i comportamenti attesi sono essenzialmente due. Nel primo caso le metriche, soprattutto *VSA*, risultata già poco robusta in alcune ricerche (§ 2), potrebbero manifestare un potenziale descrittivo insufficiente a discriminare le lingue 'patologiche' (SD e NU) da quella normotipo (GC); si consideri inoltre che tali parametri vocalici potrebbero mostrare una sensibilità diversa, non solo a seconda del disturbo linguistico, ma anche a seconda della lingua studiata, essendo stati finora testati su un ristretto numero di lingue.

Nel secondo caso, viceversa, le metriche, superando i vincoli imposti dalla lingua dei partecipanti e dalla patologia linguistica in esame, potrebbero prefigurarsi come validi *discrimen* tra soggetti clinici e soggetti di controllo, riuscendo a separare, nell'ipotesi più forte, anche il comportamento dei SD da quello dei NU.

4.2 I partecipanti

Alla ricerca hanno preso parte complessivamente 2 gruppi di persone con disturbo linguistico e un gruppo di controllo, provenienti da Cosenza o zone limitrofe. Il primo campione è composto da otto persone con Sindrome di Down (SD), 4 maschi e 4 femmine con un'età media di 20.2; si tratta di studenti o di giovani diplomati ben integrati socialmente, sottoposti in passato a trattamento logopedico. Il secondo gruppo è rappresentato da 7 sordi bilaterali profondi congeniti o prelinguali (NU), 3 maschi e 4 femmine aventi un'età media di 33.5 anni. I non udenti del campione sono studenti o impiegati in strutture pubbliche, educati prevalentemente con il metodo oralista, tre di essi conoscono e usano anche la LIS, due soggetti hanno genitori non udenti, nessun partecipante sordo è dotato di impianto cocleare o di protesi acustica. Il campione di controllo (GC), infine, è formato da otto studenti universitari normotipo (4 M e 4 F) con un'età media di 22.5.

4.3. I materiali

Tutti i partecipanti sono stati audioregistrati mediante supporti digitali (*Tascam DR-07*, 44Khz, 32 bit, .wav) durante la lettura di un breve testo e la descrizione di 4 vignette illustrate. La registrazione è avvenuta in un luogo sufficientemente silenzioso, previo consenso informato rilasciato dagli stessi, o dai loro familiari nel caso della SD, e solo dopo aver posto i partecipanti in una condizione di spontanea collaborazione. I dati che presentiamo sono relativi al solo parlato descrittivo.

4.4. I parametri di analisi

Per ogni gruppo è stata computata la media e la deviazione standard dei seguenti parametri: 1) estrazione delle formanti vocaliche (F1, F2) delle tre vocali cardinali /i a u/ tramite procedura FFT applicata in corrispondenza dello *steady-state* della vocale; 2) *Area dello Spazio Vocalico* triangolare (*VSA*), 3) *Rapporto di Centralizzazione Formantica* (*FCR*), 4) *Indice Articolatorio delle Vocali* (*VAI*), 5) $F1a/(F1i+F1u)$, 6) *Rapporto* $F2i/F2u$. La significativa

statistica dei risultati è stata verificata mediante t-test, analisi della varianza (Anova), test post-hoc di Tukey, utilizzando il *software SPSS*.

5. I risultati

Tutte le metriche esplorate sono efficaci nel differenziare i soggetti SD e NU dal gruppo di controllo. Consideriamo innanzitutto *VSA*. Poiché il valore è ricavato partendo dalle frequenze in Hz di F1 e di F2, i valori computati per le femmine, come peraltro atteso, sono sempre superiori a quelli dei soggetti maschi ($p < 0.001$). *VSA* non neutralizza quindi il condizionamento di genere, tuttavia, si dimostra un indice capace di discriminare i soggetti con disturbo articolatorio da quelli normotipo [tutti: $F(2,1) = 3,66$, $p = .03$; maschi: $F(2,9) = 13,59$, $p = .02$; femmine: $F(2,10) = 9,2$, $p = .05$], si veda in merito quanto rappresentato nelle Figure 1 e 2. Nel GC il valore di *VSA*, che raggiunge frequenze piuttosto alte (Hz^2), è indicativo di uno spazio vocalico ampio e ben definito in cui la disposizione dei timbri rispetta la classica forma triangolare del sistema vocalico italiano. I gruppi SD e NU mostrano una diffusa compressione dell'area vocalica che si manifesta come una globale riduzione della superficie articolatoria impiegata. Nel dettaglio, le differenze relative allo spazio articolatorio tra SD/GC sono pari a $\pm 35\%$ nei maschi ($p = .04$) e al $\pm 24\%$ per il sottocampione femminile ($p = .04$); più incisiva è la distanza tra NU/GC, essendo pari a $\pm 87\%$ nei maschi ($p = .001$) e al $\pm 68\%$ ($p = .02$) tra le femmine. Il sistema vocalico presenta tanto una riduzione dello spazio quanto un'alterazione del posizionamento degli stessi timbri. A questo proposito, si osserva che nei maschi con SD la pronuncia della /u/ appare centralizzata, con conseguente riduzione dell'asse relativo all'altezza vocalica, mentre nei NU, prescindendo dal genere, lo spazio vocalico appare decisamente contratto verso l'interno, con significativa compressione della distanza vocalica sull'asse antero-posteriore (Figg. 1-2).

Nel complesso, la superficie vocalica dei NU è inferiore anche a quella ottenuta per il gruppo SD, la differenza, già significativa per il parlanti maschi ($p = .03$), lo è ancor di più per le femmine ($p = .01$). Ciò documenta la presenza di un parlato fortemente degradato in cui i timbri cardinali, prodotti con un cospicuo grado di centralizzazione, sono spesso neutralizzati, una caratteristica quest'ultima soventemente riportata per il parlato delle persone sorde. Gran parte delle vocali tende a convergere verso il centro dello spazio articolatorio, l'area di norma occupata dalle vocali indistinte; nei NU i movimenti della lingua hanno infatti un *range* limitato, soprattutto per quel che concerne F2, in genere troppo elevata anche per le vocali posteriori.

Nei tre gruppi sperimentali è presente anche una certa variabilità interlocutore, una componente quest'ultima che non si deduce dal valore medio e che non risparmia neppure i partecipanti normotipo; indicazioni in tal senso provengono dai valori della deviazione standard (DS), si veda in merito quanto riportato nella Fig. 3. In alcuni casi il comportamento delle vocali è irregolare e poco omogeneo anche all'interno di un medesimo sottocampione, è il caso delle femmine Down o di quelli NU, in cui sono presenti partecipanti con *VSA* nettamente compresse accanto ad altri con spazi lievemente più ampi, ma comunque al di sotto del limite normotipo.

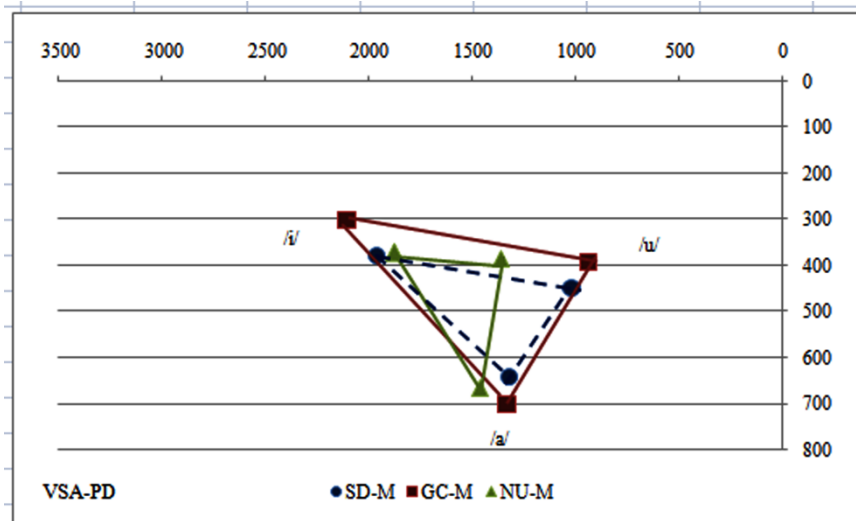


Figura 1. VSA. Soggetti Maschi

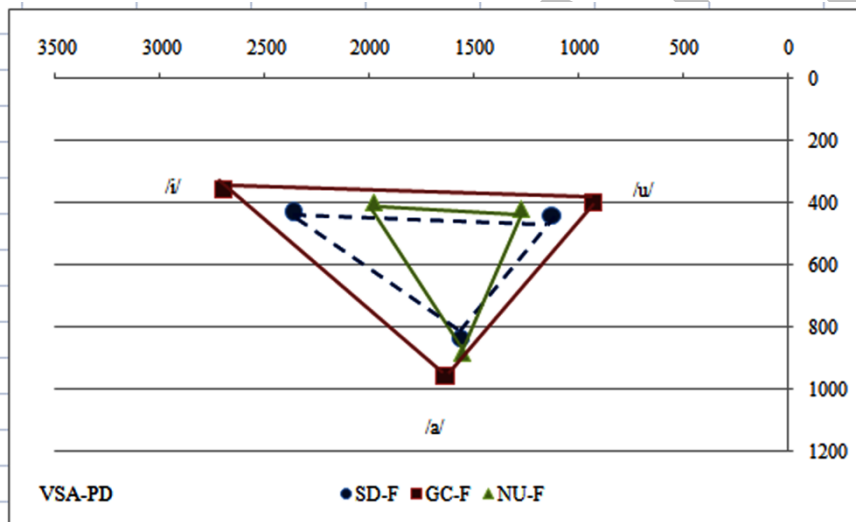


Figura 2. VSA. Soggetti Femmine

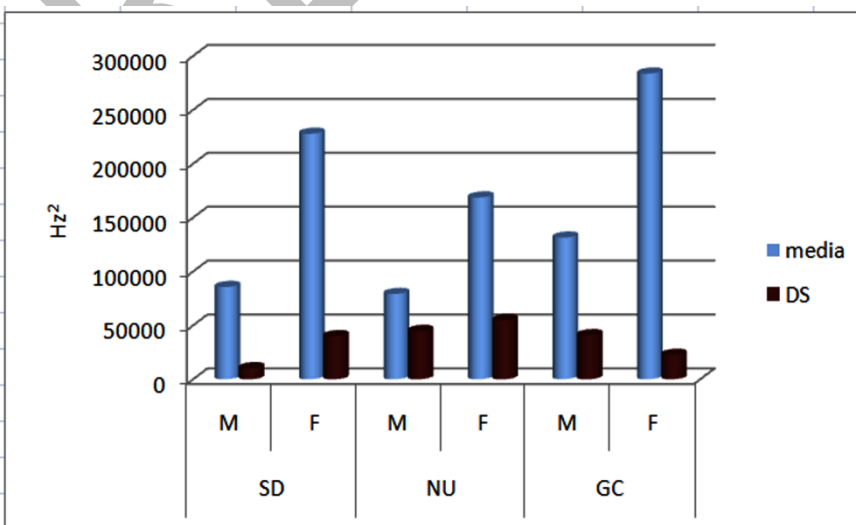


Figura 3. VSA. Valore medio e Deviazione Standard in Hz^2 dei gruppi indicati (SD-NU-GC) ripartiti per genere (M-F)

L'applicazione delle altre metriche concorre a definire il quadro descrittivo (Fig. 4). Come atteso, *FCR* si attesta su un valore pari a 1 solo nel GC. Nei soggetti SD e soprattutto nei NU tale parametro documenta la presenza di un processo di centralizzazione dei timbri vocalici; la differenza tra gruppi è significativa [$F(2,13)= 6.3$ $p= .012$], ma non quella tra i soli gruppi clinici [$F(1,9)= 0.8$, $p < .93$]⁴. Lo stesso scenario è replicato per *VAI*; in questo caso rapporti inferiori a 1 evidenziano la presenza di frequenti *undershoot* articolatori, i gruppi NU e GC si comportano in modo diverso [$F(2,13)= 4,22$, $p= .039$], laddove il confronto tra gruppi ha debole rilevanza statistica [$F(2,13)= 3,6$, $p= .056$].

Coerentemente con quanto rilevato per *VSA*, gli indici di maggiore centralizzazione e di riduzione vocalica si rilevano per i NU, l'alterazione dei gesti vocalici si apprezza tanto lungo l'asse verticale (F1), quanto, in misura maggiore, lungo l'asse orizzontale (F2). Il computo delle metriche *FiRatio* e *F2Ratio* ci ha permesso di quantificare tali variazioni. Dagli esiti sperimentali (Fig. 4), si deduce che NU e SD si allontanano dal comportamento del GC mostrando valori più bassi⁵. L'indice *F1Ratio* (grado di apertura: V alte vs. V basse) è appena più incrinato nei Down che nei sordi, lo scarto tuttavia è significativo solo rispetto al GC [$F(2,17)= 7,67$, $p= .04$], ma non rispetto ai soggetti NU i quali infatti non si distanziano in modo apprezzabile dal gruppo SD [$F(1,9)= 3,08$, $p= .11$]. Nella SD la riduzione del *range* di F1 è imputabile ai numerosi impedimenti anatomici e funzionali che incidono tanto sui movimenti della mandibola quanto sull'innalzamento della lingua all'interno della cavità orale⁶.

Ancora più incisivo è il valore relativo all'indice *F2Ratio* (luogo di articolazione: V anteriori vs. V posteriori). Questo rapporto appare inversamente proporzionale al grado di intelligibilità verbale dei partecipanti analizzati; il valore è infatti alto nel GC (Ratio: 2.52), basso nei NU (Ratio: 1.39), ovvero il gruppo meno intelligibile, mentre nei SD si colloca in una posizione intermedia (Ratio: 1.92); le differenze tra gruppi sono significative [$F(2,13)= 16,1$, $p= .0001$], come pure quelle tra SD e NU [$F(1,10)= 7,8$, $p= .019$].

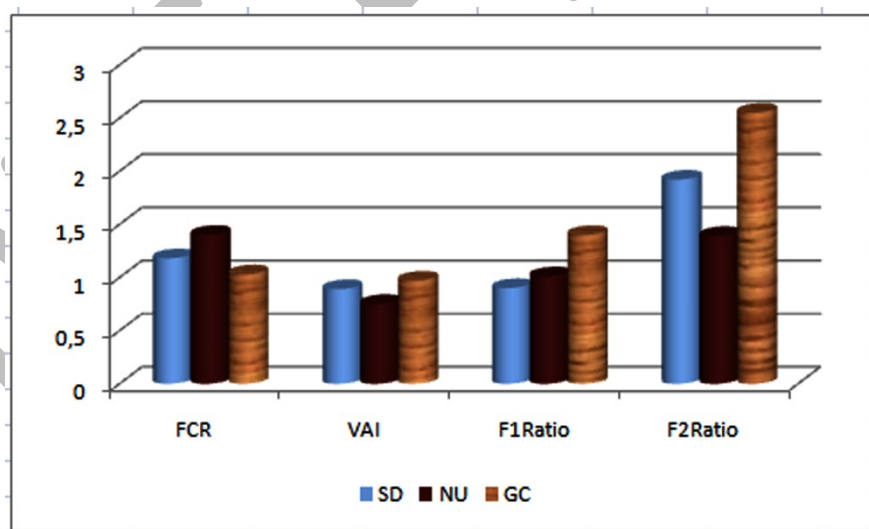


Figura 4. Valori medi delle metriche indicate per i gruppi SD, NU e GC

⁴ Stando ai risultati riportati da Lansford & Liss (2014), *FCR* riesce a distinguere correttamente disartrici da non disartrici solo nel 50% dei casi.

⁵ Le metriche in esame neutralizzano le differenze inter-individuali, comprese quelle di genere. Di conseguenza, seguendo la metodologia prevalente in letteratura, i dati che presentiamo sono stati computati mediando i valori ottenuti per i partecipanti maschi e femmine.

⁶ Il valore di *F1Ratio* riportato per la SD da Moura *et al.* (2008) è nettamente più alto, probabilmente perché ricavato su parole pronunciate in isolamento. Va altresì osservato che nella ricerca indicata, il rapporto è stato ricavato separatamente per /i/ e per /u/.

6. Riflessioni

In questa ricerca abbiamo considerato due gruppi di parlanti con ridotta intelligibilità e diverse metriche vocaliche di norma usate per stimare le alterazioni vocaliche di pazienti disartrici e distinguere il loro comportamento articolatorio da quello delle persone normotipo. Dal percorso sperimentale svolto si evince come tutte le metriche applicate riescano a discriminare efficacemente SD e NU da un lato e GC dall'altro; l'unica eccezione è rappresentata da *VAI* che si pone al limite della soglia critica di significatività statistica accettata (5%). La prima ipotesi di lavoro trova dunque conferma. L'assetto vocalico di SD e NU mostra un diffuso grado di alterazione rispetto alla produzione del GC. Nei partecipanti Down e nei sordi, le vocali cardinali risultano proiettate verso un'area centrale, la compressione dello spazio vocalico è rilevante, come si evince dal computo di *VSA*. Nei campioni SD e NU è presente un assetto vocalico deviato in cui le vocali perdono gran parte della loro distintività articolatoria. Ciò nonostante, è il gruppo dei sordi a mostrare la superficie vocalica più compressa, indizio evidente di una più marcata disabilità articolatoria. La centralizzazione dei timbri cardinali emerge anche dai valori di *FCR* e di *VAI*. Molti bersagli fonologici subiscono un profondo spostamento articolatorio, un vero e proprio processo di *undershoot* articolatorio, che li rende poco distinguibili sul piano percettivo, generando così una certa confusione sul piano uditivo e un severo grado di inintelligibilità.

Alla luce dei risultati raccolti, si può pertanto sostenere che le metriche applicate siano, con riferimento ai gruppi considerati, degli indici affidabili capaci di separare il parlato normotipo da quello 'patologico'. Tuttavia, il potenziale descrittivo delle metriche si riduce sensibilmente nel momento in cui SD e NU, privati dal riferimento normotipico, sono posti a diretto confronto. Gli unici parametri che mantengono piena significatività, differenziando SD da NU, sono infatti *VSA* e *F2Ratio*. I valori di *FCR*, *VAI*, ed in modo più palese *F1Ratio*, nei due gruppi 'clinici, sono infatti approssimabili e statisticamente non differenziati, sebbene gli stessi concorrano alla distinzione da GC. La seconda ipotesi di lavoro trova quindi una conferma solo parziale. Questo comportamento si presta ad alcune riflessioni. A nostro avviso, la debolezza di alcune metriche è da imputarsi alla scelta dei gruppi sperimentali. Sebbene l'eziologia, il quadro clinico globale e le modalità di acquisizione del linguaggio di SD e NU siano nettamente diversi, la loro produzione linguistica condivide almeno due aspetti: alterazione articolatoria e apprezzabile inintelligibilità. SD e NU, questi ultimi in modo ancora più incisivo, mostrano infatti un'esecuzione linguistica palesemente danneggiata, motivo per cui l'assetto vocalico risulta inevitabilmente distinto da quello dei normotipo, ma non ad un confronto interno. Nella nostra ricerca, solo alle metriche *VSA* e *F2Ratio* può essere riconosciuto un elevato valore distintivo e predittivo di un parlato 'disturbato', poiché distinguono non solo SD e NU da GC, ma anche SD da NU. A differenza di quanto osservato in alcuni studi, *VSA* sembra invece funzionare piuttosto bene, seppure calcolata su soli tre timbri, una condizione quest'ultima che avrebbe potuto limitare il suo potenziale descrittivo. È significativo inoltre evidenziare che il ruolo predittivo di *VSA* emerge in un campione di parlato semi-spontaneo. A questo proposito, si ricorda che in gran parte degli studi effettuati in questo ambito, il materiale linguistico analizzato è composto da parole, spesso monosillabi, o da frasi pronunciate in isolamento contestuale.

Il comportamento di *F2Ratio* è particolarmente attivo a fini della distinzione tra lingue 'patologiche' e pertanto merita un commento a parte. Questa metrica mostra un comportamento peculiare nei due gruppi clinici, risultando tuttavia più contratto nei NU. Questo esito sperimentale, ovvero l'abbassamento di F2, il primo ad essere documentato in un campione di sordi italiani, trova tuttavia conferma nella letteratura sull'argomento, in cui è citato come tratto tipico della produzione vocalica dei non udenti. Le cause postulate

sarebbero diverse. Innanzitutto, va evidenziata la mancata ‘visibilità’ dei movimenti che avvengono lungo la direttrice antero-posteriore, una dinamica che sfugge anche ad una lettura labiale (Monsen, 1976); gli spostamenti articolatori che si compiono lungo la dimensione orizzontale (F2) sono cioè meno visibili, ad un’ispezione visiva o esterna, rispetto ai gesti vocalici che sfruttano l’asse verticale (F1), si pensi ad esempio al movimento della mandibola⁷. Ad ulteriore conferma, perfettamente in linea con i nostri esiti acustici, un recente studio (Verhoeven *et al.*, 2016) ha osservato che il sistema vocalico dei NU, compresi gli impiantati, subisce una profonda deviazione che investe in special modo F2 riducendo in modo ragguardevole la distinzione tra timbri anteriori e timbri posteriori; per contro il parametro dell’altezza vocalica risulterebbe meno coinvolto, come emerge anche dai nostri dati relativi a *F1Ratio*. A questo proposito, già nel 1976 Monsen metteva in evidenza come nella produzione vocalica di bambini NU il valore della seconda formante si collocasse sistematicamente intorno a 1800 Hz, determinando la cosiddetta *immobility of F2*, un aspetto condizionante, non solo la resa percettiva delle vocali prodotte, ma anche la resa fonetica delle consonanti.

Come è noto, le difficoltà linguistiche dei NU sono da ascrivere in primo luogo alla mancanza di un *feedback* uditivo. In assenza di udito, l’attenzione dei sordi viene dirottata verso altre risorse, come la labiolettura dei gesti vocalici, il controllo oro-sensoriale e gestuale, che vengono per l’appunto massimizzati. Con specifico riferimento alle vocali, i NU, facendo affidamento su ciò che è più facilmente recuperabile tramite la vista, approssimano con maggiore accuratezza i valori formantici di F1, resi più evidenti dal concomitante abbassamento della mandibola. Il riscontro visivo determina pertanto un migliore controllo dei movimenti relativi all’altezza vocalica (*F1Ratio*), ma non di quelli che si compiono lungo F2 (*F2Ratio*); questi ultimi sono infatti più problematici, considerata l’impossibilità di recuperare visivamente il gesto di arretramento della lingua. La protusione delle labbra, tuttavia, deducibile dall’osservazione dei gesti labiali, contribuirebbe a facilitare l’articolazione posteriore; secondo alcuni studi la vocale meno distorta dai sordi sarebbe infatti /u/; nella nostra ricerca anche questo timbro subisce invece una palese ipoarticolazione⁸.

Diversa la situazione che emerge nelle persone con SD. In questo caso, la precisione dei gesti articolatori è condizionata da precipue anomalie anatomiche e funzionali che investono direttamente l’apparato fonatorio, e spesso anche quello respiratorio e uditivo. La cavità orale è piccola, mentre il palato ha una forma ogivale e fissurata; i movimenti della lingua, troppo grande rispetto al condotto orale, sono limitati e imprecisi. Le dinamiche fonatorie sono inoltre condizionate da uno scarso tono muscolare. Tanto la programmazione che la sincronizzazione motoria dei gesti articolatori risultano infine invalidate. Ciò nonostante, sebbene affetti da *deficit* cognitivo, i Down manifestano, se confrontati con i sordi, una minore alterazione vocalica, documentata, nel nostro caso, da una *VSA* più ampia e da una minore contrattura di *F2Ratio*. Il linguaggio orale dei sordi è dunque più degradato: l’assenza di *input* sensoriale altera infatti non solo la possibilità di produrre in modo adeguato un linguaggio articolato, ma anche quella di rappresentare mentalmente i suoni e di classificarli in classi fonemiche, un processo che permette di cogliere, per astrazione, quei tratti percettivi

⁷ L’accuratezza articolatoria dei segmenti posteriori risulta problematico anche per i soggetti con residuo di udito, visto che le gamme frequenziali superiori a 1000 Hz sono difficilmente discriminate.

⁸ La condizione di profonda compromissione articolatoria dei NU sarebbe aggravata anche da altri fattori. Il primo aspetto riguarda la presenza di un diffuso grado di nasalizzazione, aspetto peculiare del linguaggio vocale dei sordi, imputabile ad uno scarso controllo del velo palatino. Ciò determina un indebolimento di F1, la presenza nello spettro vocalico di una zona di risonanza nasale, l’ampiamiento della banda formantica. La distintività dei suoni è inoltre limitata anche a causa della presenza di un’eccessiva risonanza faringale e da una scarsa aderenza degli articolatori mobili.

distintivi dei suoni, necessari per la loro fedele riproduzione sul fronte articolatorio⁹. L'assenza di un linguaggio orale acquisito fin dalla nascita in modo spontaneo incide anche sullo sviluppo neurocognitivo e sui processi di concettualizzazione dei NU, i quali come è noto sono convogliati sia dal linguaggio che dall'esperienza percettivo-sensoriale.

La ricerca condotta ha fornito diversi indizi sulla realizzazione vocalica dei partecipanti coinvolti, permettendo anche di tracciare una gerarchia della forza descrittiva delle metriche indagate. In quest'ottica, *VSA* e *F2Ratio* sono sempre distintive e svolgono un'azione predittiva forte, laddove *VAI* ha un ruolo spesso irrilevante, privo di effetto discriminante anche rispetto ai controlli. A fronte di questi risultati, per molti versi positivi e innovativi, considerata anche la scarsità di ricerche italiane svolte in questa direzione, crediamo che il raggiungimento di un quadro descrittivo esaustivo si possa avere solo adottando un approccio multifattoriale. Accanto alle metriche vocaliche discusse, andrebbero considerati anche altri parametri. Il calcolo delle Distanze Euclidee tra le vocali e il Centroide, ad esempio, potrebbe contribuire a definire con ulteriore precisione il grado di centralizzazione dei sistemi vocalici esaminati (per la SD, in questa direzione, si veda Sorianello, 2015), laddove il quadro relativo al grado di intelligibilità presente nel campione potrebbe arricchirsi con le informazioni provenienti dall'analisi della qualità di voce, del ritmo elocutivo e delle disfluenze. A nostro avviso, le alterazioni del sistema vocalico, pur essendo dei marcatori fonetici attendibili di una ridotta intelligibilità, o di parlato disartrico, non possono essere ritenuti i soli indici descrittivi di una condizione clinica complessa. Questo potrebbe spiegare perché la forza predittiva delle metriche talvolta si riduce; si veda in merito l'utile rassegna di Lansford & Liss (2014).

In una prospettiva di studio integrata, si rende infine necessario procedere anche con lo svolgimento di adeguate verifiche di tipo percettivo; una produzione vocalica alterata innesca necessariamente anche una variazione dello spazio percettivo, l'area uditiva in cui si collocano i timbri vocalici realizzati. Tale condizione ha delle precipue ricadute fonetiche e fonologiche. Sul fronte articolatorio, maggiore sarà la riduzione dell'area vocalica, maggiore sarà anche la probabilità che le vocali si sovrappongano condensandosi verso uno spazio centrale. Sul fronte uditivo, invece, ad una maggiore sovrapposizione e centralizzazione vocalica corrisponderà, in modo inversamente proporzionale, una progressiva perdita del grado di distintività fonologica del segmento prodotto, quale effetto diretto dell'eccessiva vicinanza, o finanche confusione uditiva tra timbri. Ciò avviene, ad esempio, quando le categorie fonologiche, essendo troppo ravvicinate, perdono la loro identità acustica e percettiva.

La ricerca, lungi quindi dall'essere esaustiva, si apre verso altri filoni di indagine che contemplano protocolli sperimentali più articolati, estesi anche all'osservazione di altre patologie del linguaggio e a forme di verifica uditiva.

Riferimenti bibliografici

- Angelocci, A. A., Kopp, G.A., Holbrook, A. 1964. *The vowel formants of deaf and normal-hearing eleven -to fourteen-year-old boys*. «Journal of Speech and Hearing Disorders», 29(2): 156-170.
- Barzagli, L., Mendes, B. 2008. *Stressed and unstressed vowels production in hearing-impairment*, Proceedings of the International Conference on Speech Prosody, Barbosa, P.L., Madureira, S., Reis, C. (eds.), Campinas, Brazil, 199-212.
- Baudonck, N. Van Lierde, K., Dhooge, I., Corthals, P. 2011. *A comparison of vowel productions in prelingually deaf children using cochlear implants, severe hearing-impaired children using conventional hearing aids and normal-hearing children*, «Folia Phoniatica et Logopaedica», 63: 154-160.

⁹ Beninteso, il *deficit* acustico ha ricadute anche sull'elaborazione di altre processi linguistici, come ad esempio quelli afferenti al piano grammaticale.

- Bunton, K., Leddy, M. 2011. *An evaluation of articulatory working speech area in vowel production of adults with Down syndrome*, «Clinical Linguistics and Phonetics» 25: 321-334.
- Caselli, C., Maragna, S., Volterra, V. 2006. *Linguaggio e sordità*. Bologna: Il Mulino.
- Contardi, A., Vicari, S. (eds.). 1995. *Le persone Down. Aspetti neuropsicologici, educativi e sociali*. Milano: FrancoAngeli.
- Do, B., Thompson, L. 2001. *Speech disorder in children with Down's syndrome*, «Journal of intellectual disability research» 45: 308-316.
- Duffy, J.R. 2005. *Motor Speech Disorders: Substrates, differential diagnosis, and management*, 2^o ed., Elsevier Mosby.
- Fougeron, C., Audibert, N. 2011. *Testing various metrics for the description of vowel distortion in dysarthria*, in *Proceedings of the XVII International Congress of Phonetic Sciences*, Hong Kong, 687-690.
- Garrapa, L., Bottari, D., Calabrese, A., Pavani, F., De Benedetto, M., Vitale, S., Monastero, P., Greco, M., Grimaldi, M. 2013. *Processing of /i/ and /u/ in Italian cochlear implant children: a behavioral and neurophysiological study*, *Proceedings of the 14th conference of the International Speech Communication Association [Interspeech 2013]*, Lyon 2013, 2272-2276.
- Jacewicz, E., Fax, R.A., Salmons, J. 2007. *Vowel space areas across dialects and gender*, *Proceedings of the 16th International Congress of Phonetic Sciences*, Trouvain, J., Barry, W.J. (eds.), Saarbrücken, 1465-1468.
- Kent, R., Weismer, G., Kent, J., Vorperian, H., Duffy, J. 1999. *Acoustic studies of dysarthric speech: methods, progress and potential*, «Journal of Communication Disorders» 32: 141-186.
- Kent, R.D., Vorperian, H.K., 2013. *Speech impairment in Down Syndrome: a review*, «Journal of Speech Language and Hearing Research», 56: 178 -210.
- Higgins, C., Hodge, M. 2002. *Vowel area and intelligibility in children with and without dysarthria*, «Journal of Medical Speech and Language Pathology», 10: 271-277.
- Lansford, K.L., Liss, J.M. 2014. *Vowel acoustics in dysarthria: speech disorder diagnosis and classification*, «Journal of Speech Language and Hearing Research» 57: 57-67.
- Liu, H.M., Tsao, F.M., Kuhl, P.K. 2005. *The effect of reduced vowel working space on speech intelligibility in Mandarin-speaking young adults with cerebral palsy*, «Journal of Acoustical Society of America» 117: 3879-3889.
- Lofqvist, A., Sahlen, B., Ibertson, T. 2010. *Vowel space in Swedish adolescent with cochlear implants*, «Journal of Acoustical Society of America» 128(5), 2064-3069.
- Monsen, R.B. 1976. *Normal and reduced phonological space: the production of English vowels by deaf adolescents*, «Journal of Phonetics» 4: 189-198.
- Moura, C.P., Cunha, I., Vilarinho, H., Cunha, M., Freitas, S.D., Palha, M., Poeschel, S., Pais-Clemente, M. 2008. *Voice parameters in children with Down Syndrome*, in «Journal of Voice» 22: 34-42.
- Nadel, L. (ed.). 1988. *The psychobiology of Down syndrome: issues in the biology of language and cognition*, Cambridge (Mass.): MIT Press.
- Neumeier, V., Harrington, J., Draxler, C. 2010. *An acoustic analysis of the vowel space in young and old cochlear-implant speakers*, «Clinical Linguistics and Phonetics», 24(9): 734-741.
- Nicolaidis, K., Sfakianaki, A. 2016. *Acoustic characteristics of vowels produced by Greek intelligible speakers with profound hearing impairment I: Examination of vowel space*, «Journal of Speech Language Pathology» 18(4): 1-10
- Ozbič, M., Kogovšek, D. 2008. *An acoustic comparison of formant frequencies in individuals with normal hearing, profound and severe hearing impairment*, «Investigationes Linguisticae»: VXi 1-13.
- Pellegrino, E., Caruso, V., De Meo, A. 2015. *Discriminating between pathological and foreign-accented speech: an acoustic-perceptual study on Italian*. In *Il farsi e il disfarsi del linguaggio. Acquisizione, mutamento e destrutturazione della struttura sonora del linguaggio*, Studi AISV 1, Vayra, M., Avesani, C., Tamburini F. (a cura di), Milano: Officinaventuno, 191-202.
- Penz, A., Moran, M.J. 1988. *Voice disorders in Down Syndrome*. «Journal of Childhood Communication Disorders» 12: 109-117.
- Rahilly, J. 2013. *Vowel disorders in hearing impairment*. In *Handbook of vowels and vowel disorders*, Ball, M.J., Gibbon, F.E (eds.), New York & London, Psychology Press: 364-383.

- Sandoval, S., Berisha, V., Utianski, R.L., Liss, J.M. 2013. Automatic assessment of vowel space area, «Journal of Acoustical Society of America» 134: 477-483.
- Sapir, S., Ramig, L.O., Spielman, J.L., Fox C. 2010. *Formant centralization ratio (FRC): a proposal for a new acoustic measure of dysarthric speech*, «Journal of Speech Language and Hearing Research» 53: 114-125.
- Sapir, S., Ramig, L.O., Spielman, J.L., Fox C. 2011. *Acoustic metrics of vowel articulation in Parkinson's disease: vowel space area (VSA) vs. vowel articulation index (VAI)*. In Manfredi, C. (ed.), *Proceedings of the 7th international workshop Models and analysis of vocal emissions for biomedical applications*, Firenze: 173-175.
- Sorianello, P. 2012. *Linguaggio e Sindrome di Down*, Milano: FrancoAngeli.
- Sorianello, P. 2015. *La variabilità vocalica nelle persone con Sindrome di Down. Un'analisi acustica*. In Orletti, F., Cardinaletti, A., Dovetto, F.M. (a cura di), *Tra linguistica medica e linguistica clinica. Il ruolo del linguista*, Numero monografico di «Studi Italiani di Linguistica Teorica e Applicata» XLIV (3): 508-520.
- Sorianello, P. 2017. Spazi vocalici e intelligibilità nella Sindrome di Down. In *Il linguaggio disturbato. Modelli, strumenti, dati empirici*, Sorianello, P. (a cura di), Roma: Aracne, 159-173.
- Verhoeven, J., Hide, O., De Maeyer, S., Gillis, S., Gillis, St. 2016. *Hearing impairment and vowel production. A comparison between normally hearing, hearing-aided and cochlear implanted Dutch children*, «Journal of Communication Disorders», 59: 24-39.
- Weismer, G., Jeng, J.Y., Laures, J., Kent, R., Kent, J. 2001. *Acoustic and intelligibility characteristics of sentence production in neurogenic speech disorders*, «Folia Phoniatria et Logopaedica», 53:1-18.
- Yasuyoshi, K., Yoshino, T. 1989. *Acoustic analysis of vowels in adolescents with profound hearing impairments*, «Bull. Spec. Educ » 14(1): 17-24.