

# COARTICOLAZIONE E ANIMAZIONE FACCIALE: PROBLEMATICHE E SOLUZIONI

Piero Cosi\*, Giulio Perin\*\*

\*ISTC-SPFD CNR - Istituto di Scienza e Tecnologie della Cognizione  
Sezione di Padova "Fonetica e Dialettologia" - Consiglio Nazionale delle Ricerche  
e-mail: [cosi@csrf.pd.cnr.it](mailto:cosi@csrf.pd.cnr.it)      <http://www.csrf.pd.cnr.it/>

\*\*UNIPD-DEI - Università di Padova - Dipartimento di Elettronica e Informatica  
Via Gradenigo 6/a, 35131 Padova, ITALY  
e-mail: [giulioperin@yahoo.it](mailto:giulioperin@yahoo.it)

## 1. SOMMARIO

Per la generazione di facce parlanti naturali, espressive e realistiche è necessario riprodurre fedelmente la variabilità contestuale dovuta alla reciproca influenza dei movimenti articolatori durante la produzione di sequenze fonetiche. Questo particolare fenomeno, definito "coarticolazione", è veramente complesso e difficile da modellare. In questo lavoro saranno brevemente introdotti alcuni modelli di strategie coarticolatorie e saranno illustrate alcune delle problematiche che si devono studiare e risolvere nello studio e nella progettazione di facce animate parlanti naturali ed espressive.

## 2. INTRODUZIONE

I sistemi basati sulla rappresentazione attraverso segmenti fonetici concatenati presentano due principali difficoltà. In primo luogo segmentare significa stabilire dei confini di demarcazione tra un fonema e l'altro, mentre il parlato è un processo continuo in cui non si possono determinare frontiere così nette. Come seconda ragione, un tale frazionamento suggerisce l'idea non corretta di indipendenza dell'unità fonetica, mentre in realtà essa è fortemente dipendente dal contesto in cui si trova. Questa dipendenza è dovuta principalmente al fatto che il movimento dei differenti articolatori per la produzione di successivi fonemi si sovrappone e interagisce col movimento articolatorio dei segmenti adiacenti. Queste semplici considerazioni ci fanno intuire il motivo del gran rilievo assegnato negli anni agli studi sulla coarticolazione. Da una parte si cercano delle teorie che ne spieghino l'origine, la natura ed il funzionamento, dall'altra si vogliono creare dei modelli che ne predicano i dettagli. Gli studi coarticolatori riguardano due campi principali:

- **la variabilità acustica:** essa è legata al concetto di target acustico, che si riferisce alla posizione e all'ampiezza delle frequenze di risonanza del suono dette formanti;
- **la variabilità articolatoria:** l'oggetto dell'analisi è la conformazione degli articolatori in termini di alcuni parametri costitutivi caratteristici (e.g. apertura e larghezza labiale, protrusione del labbro inferiore e superiore, rotazione mandibolare) o dell'attività muscolare rilevata con strumenti elettromiografici (EMG).

Le indagini sul processo che associa le invarianti unità fonemiche alla variabilità della conformazione acustica ed articolatoria possono essere ricondotte ai due seguenti aspetti fondamentali:

- ***L'evoluzione temporale***: si cerca di determinare l'estensione e la direzione temporale dei movimenti coarticolatori che caratterizzano le unità di base del parlato.
- ***L'emergere di gesti conflittuali***: l'obiettivo è definire cosa accade quando gesti contrastanti devono essere prodotti in successione dalla stessa struttura articolatoria; si vuole capire se la coarticolazione viene bloccata oppure continua la sua estensione con un grado diverso a seconda della costrizione imposta.

Gran rilievo è stato dato anche alle differenze tra le varie lingue. In questo caso il proposito è verificare se esistono caratteristiche universali che sottostanno al fenomeno coarticolatorio e di caratterizzare le diversità che contraddistinguono le varie lingue.

### 3. COARTICOLAZIONE: TEORIE E MODELLI

Il tentativo di spiegare la variabilità degli aspetti coarticolatori ha dato vita a numerose teorie e modelli. Data la complessità dei comportamenti articolatori, gli studi da cui sono conseguite le varie teorie, fanno in genere riferimento ad analisi di aspetti particolari e circoscritti. Come molti altri studi, considereremo sia l'ambito acustico sia quello articolatorio che sono fra loro fortemente influenzati. L'elencazione che segue fa riferimento a quella proposta da Farnetani e Recaens in [1]:

- ***VARIABILITÀ ADATTATIVA***. Alla base di questa teoria proposta da Lindblom [2] vi sono studi sulle variabilità fonetiche riguardanti le cause della riduzione delle formanti vocaliche nello Svedese. In precedenza la principale convinzione era che essa fosse la conseguenza dell'inerzia dei meccanismi di produzione verso target acustici successivi. Lindblom cercò di andare oltre questa visione ed elaborò la teoria della "*variabilità adattativa*" che afferma che la produzione acustica deriva dall'adattamento alle esigenze dettate dalla situazione comunicativa. In particolare il suono è un'interazione tra l'esigenza dell'ascoltatore di comprendere con successo il messaggio e la tendenza all'economia da parte del comunicante. L'atteggiamento economico si manifesta con un graduale decremento del contrasto fonetico e con un aumento della coarticolazione fisiologica.
- ***MODELLO DI ÖHMAN***. Gli studi di Öhman [3-4] si basano sull'analisi delle caratteristiche acustiche ed articolatorie di sequenze VCV (vocale-consonante-vocale) prodotte isolatamente in diverse lingue. Egli trovò che in tali sequenze, dove C è una consonante occlusiva, il valore delle formanti non dipende solamente dalla consonante e dalla adiacente vocale (transizione VC e CV), ma anche dalla transizione della prima vocale verso la seconda vocale. Egli, quindi propose un modello numerico in cui vengono considerati separatamente l'andamento vocalico da quello consonantico. La caratteristica finale viene quindi generata dalla combinazione pesata dei due e alla consonante viene associato un coefficiente che quantifica l'"emergenza" della consonante.
- ***FONOLOGIA GENERATIVA***. Chomsky ed Halle [5] proposero una chiara differenziazione della coarticolazione da altre caratteristiche contestuali. Definirono quindi:
  - ***COARTICOLAZIONE***. La coarticolazione, vista a livello *fonetico*, è data dalla transizione tra una vocale e la consonante adiacente, ovvero l'aggiustamento nella forma dei tratti vocalici risultanti come anticipo ad un movimento successivo. I principi alla base del meccanismo coarticolatorio si basano su regole universali, indipendenti dalla lingua considerata.

- **ASSIMILAZIONI.** Alle assimilazioni fanno riferimento le operazioni svolte sulle caratteristiche *fonologiche*, ossia sui costituenti classificatori minimi di un fonema. Esse sono giustificate da regole fonologiche che collegano regole lessicali con la loro rappresentazione fonetica e in questo senso si riferiscono alla modificazione di aspetti che sono parte della grammatica e sono specifici della lingua utilizzata.
- **TEORIA DELL'ESTENSIONE DELLE CARATTERISTICHE.** Daniloff e Hammenberg [6] si allontanarono decisamente dall'idea proposta da Chomsky di caratteristiche universali. I loro studi analizzarono l'anticipazione dell'arrotondamento delle labbra in presenza di una vocale arrotondata (/o, u/). Venne dimostrato che tale azione iniziava tre o quattro segmenti antecedenti, e indicava chiaramente che la coarticolazione non era dovuta ad un fenomeno inerziale ma ad un processo di estensione di caratteristiche specifiche. Gli aggiustamenti relativi alla coarticolazione non possono essere considerati inevitabili e universali; nel Russo, ad esempio, gli accomodamenti sembrano essere minimi. Secondo la loro visione, quindi, la coarticolazione anticipatoria sarebbe spiegabile dalla grammatica di un linguaggio attraverso regole di estensione nel tempo delle caratteristiche fonologiche.
- **MODELLO LOOK-AHEAD.** A partire dai lavori di Henke [7] e di Kozhevnikov e Chistovich [8] sull'anticipazione coarticolatoria labiale e linguale, Daniloff e Hammenberg decisero di assegnare ai segmenti le seguenti caratteristiche:
  - + per le vocali arrotondate;
  - - per le vocali non arrotondate;
  - 0 per segmenti che presentano una caratteristica neutra rispetto all'arrotondamento.

Il modello da loro creato [6] stabilisce che i segmenti neutri assumono la dicitura del primo segmento successivo non neutro. L'anticipazione quindi si estende lungo tutti i segmenti rappresentati dal segno +, mentre viene bloccata da segmenti contraddistinti da un -. Il movimento di arrotondamento viene infine visto come la traiettoria che collega i segmenti con caratteristica + con segmenti con caratteristica - (vedi Figura 1).



Figura 1. Il modello Look-Ahead di Daniloff e Hammenberg [6] rappresentato con la struttura "a finestra" definita da Keating [9].

Gli aspetti fondamentali del modello sono:

- l'estensione dell'anticipazione è variabile e dipende dalla durata di tutti i segmenti neutrali precedenti; alcuni studi su diverse lingue concordano con questo aspetto, mentre altri sono in disaccordo; si può pensare che la caratteristica di tipo look-ahead sia circostanziale alla specifica; tuttavia le divergenze dei risultati in alcuni casi riguardano anche una stessa lingua;
- il movimento anticipatorio può iniziare solo dopo segmenti con caratteristica opposta rappresentati dal segno -; Benguerel, Cowan et alii [10] hanno precisato attraverso i loro studi che il movimento inizia "durante" piuttosto che

“dopo” tale segmento, in particolar modo in presenza di un ridotto numero di segmenti neutrali frapposti; inoltre, gli studi su sequenze VCV indicano che la prima vocale, anche se ha una caratteristica contrastante, è influenzata dalla seconda.

- i segmenti neutrali assumono la caratteristica dei segmenti + o - ; in realtà l'influenza può essere solo parziale; ciò può essere spiegato con il fatto che alcuni segmenti ritenuti neutrali possano avere una loro caratteristica articolatoria.
- **MODELLO DELLA “RESISTENZA ALLA COARTICOLAZIONE.** In seguito agli studi sulle caratteristiche articolatorie dei segmenti neutri, Bladon e Al-Bamerni [11] introdussero il concetto di *resistenza coarticolatoria*. Proposero infatti di associare un indice numerico alle specifiche caratteristiche di un fono che rappresentasse una maggiore o minore resistenza alla coarticolazione. I valori di tali indici non sono da considerarsi universali, ma variano in base alla specifica lingua o al dialetto.
- **MODELLO “A FINESTRA”.** Keating [9] propose un nuovo modello articolatorio che tiene in considerazione i continui cambiamenti spaziali e temporali allontanandosi dai presupposti del modello ad estensione delle caratteristiche. Secondo questo modello si possono verificare le seguenti possibilità, secondo regole fonologiche specifiche della lingua considerata:
  - il segmento neutro acquisisce sempre la caratteristica arrotondata (vedi Figura 2a, consonante /s/);
  - il segmento neutro acquisisce la caratteristica arrotondata o rimane neutro in base a specifiche situazioni (vedi Figura 2a, consonante /x/);
  - il segmento neutro rimane neutro (vedi Figura 2a, consonante /h/).

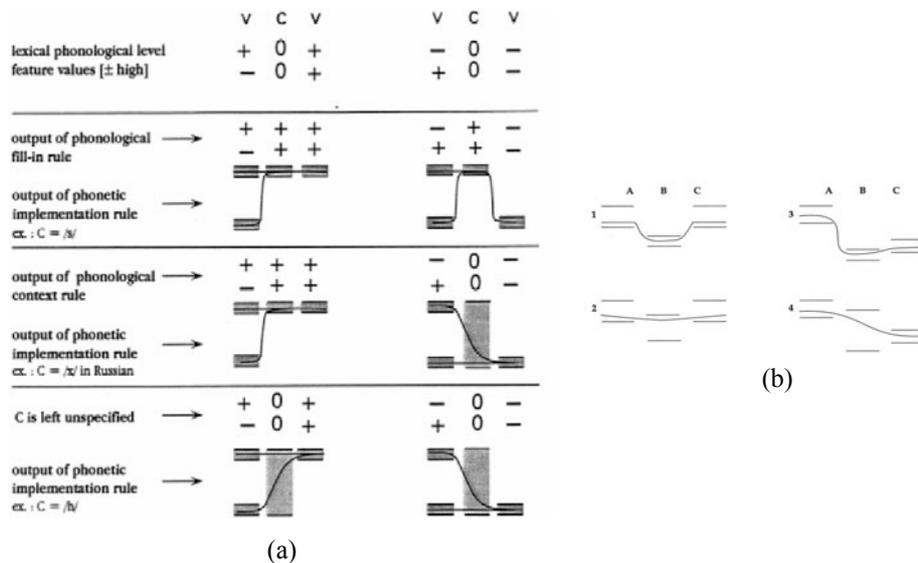


Figura 2. Il modello a “finestre” di Keating (a) e “finestre” di diversa collocazione e ampiezza con la corrispettiva implementazione del movimento degli articolatori (b).

A livello fonetico tali caratteristiche sono associate ad una finestra con una propria durata e ampiezza. L'ampiezza della finestra rappresenta tutti i possibili valori che un bersaglio articolatorio può assumere. Più è grande la finestra, più ad un segmento fonetico è associata la caratteristica di neutralità (vedi Figura 2b).

Il valore di quest'ampiezza varia in base alla lingua e può essere ottenuto osservando le variabilità contestuali. Man mano che l'ampiezza della finestra diminuisce si riesce a descrivere quei segmenti neutri che manifestano resistenza alla coarticolazione. Nelle regioni di transizione tra una finestra e l'altra ci sono delle funzioni di interpolazione che hanno lo scopo di collegare le varie finestre. Esse devono avere un impatto articolatorio minimo, in accordo con il principio di economia di Lindblom [2]. Il modello di Keating offre un ampliamento del modello *look-ahead* di Daniloff e Hammenberg [6]: se, infatti, i segmenti neutri non acquisiscono la caratteristica dell'arrotondamento, il movimento anticipatorio inizia prima possibile, immediatamente dopo la vocale non arrotondata, e si dirige gradualmente verso la vocale arrotondata con una durata che è più breve man mano che diminuisce il numero di segmenti neutrali (vedi Figura 3a, in basso).

- **MODELLO DELLA “COPRODUZIONE GESTUALE”**. Una forte critica al modello di Keating viene dal fatto che in esso le unità di rappresentazione fonologiche sono astratte e statiche e perciò necessitano di un processo che le trasformi nei diversi movimenti articolatori. Questo approccio non riesce a superare la diversità tra aspetti cognitivi e fisici perché sono ancora visti come appartenenti a domini diversi piuttosto che come due livelli di descrizione di uno stesso aspetto. In una visione alternativa le unità fonologiche sono delle azioni pianificate, con una specifica dimensione temporale, che vengono definite “*gesti fonetici*”. L'attivazione del gesto fonetico cresce fino a raggiungere il massimo valore durante il segmento cui si riferisce per poi decrescere fino ad annullarsi. La combinazione temporale dei gesti determina una loro sovrapposizione reciproca. Si distinguono in questa maniera due tipi di coarticolazione:
  - **ANTICIPATORIA**: si estende da destra verso sinistra rispetto al segmento fonetico in questione; è dovuta al movimento degli articolatori verso la posizione desiderata durante la produzione di un suono precedente a quello in esame.
  - **PERSEVERATIVA**: si estende da sinistra verso destra ed è determinata dal rilascio del movimento del suono corrente durante la produzione del suono successivo.

In alcuni casi la sovrapposizione di sequenza di due gesti successivi si risolve in modo additivo, come mostrano gli studi svolti da Munhall e Löfqvist [12] (vedi Figura 3b).

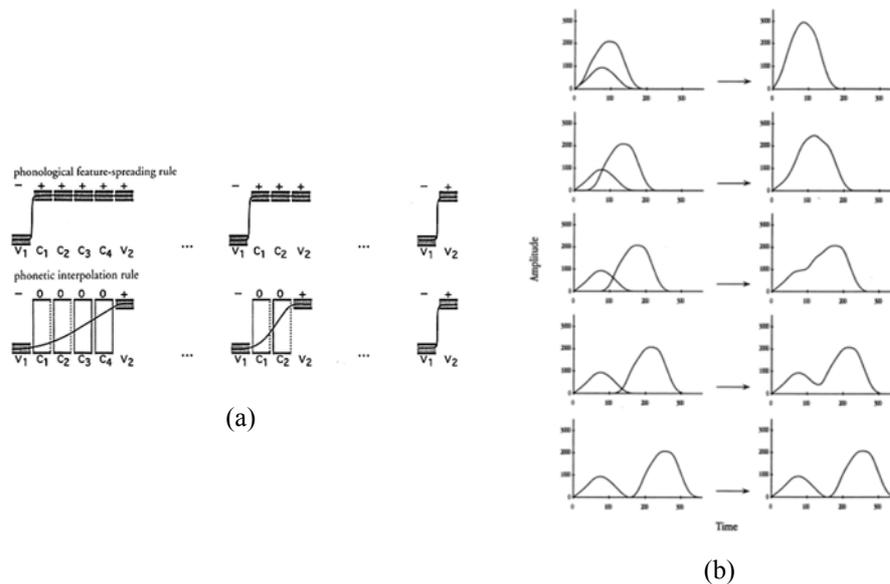


Figura 3. Il modello Look-Ahead secondo l'interpretazione di Keating (a) e illustrazione della sovrapposizione dei gesti articolatori secondo quanto emerso dagli studi di Munhall e Löfqvist (b) [12].

Vi sono altri casi, poi, in cui i gesti successivi sono contrastanti. Bell-Berti e Harris [13] hanno proposto che tali conflitti siano risolti ritardando la pianificazione dell'inizio di attivazione dei gesti di modo che gli obiettivi articolatori possano essere raggiunti. Salzam e Munhall [14] hanno ripreso il concetto di resistenza coarticulatoria, affermando che gesti più "forti" bloccano l'influenza di gesti "deboli", mentre di fronte a due gesti con uguale forza il risultante sarà una media tra i due. Secondo questo modello le differenze tra varie lingue sono dovute a diversità della caratterizzazione dei gesti fonetici.

- **MODELLO TIME-LOCKED.** Un gesto fonetico, secondo il modello della coproduzione, ha una caratteristica che rimane invariata e di conseguenza la sua estensione temporale deve essere costante. Secondo quest'osservazione e seguendo le conferme ottenute dall'analisi dei dati sull'arrotondamento labiale e sull'abbassamento velare, Bell-Berti ed Harris [13] proposero il modello coarticulatorio "time-locked" in cui il movimento di un articolatore, indipendentemente dalla lunghezza del precedente fono, inizia in un tempo fisso (vedi Figura 4).

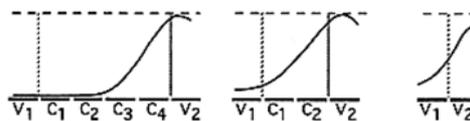


Figura 4. Illustrazione grafica del modello Time-Locked [13] indicato anche con il termine "coproduzione gestuale"

- MODELLO IBRIDO.** Al-Bamerni e Bladon [15] in uno studio sulla coarticolazione velare, osservarono che alcuni soggetti presentavano un gesto di apertura a due fasi, la prima a bassa velocità e la seconda a forte velocità. Perkell [16] notò la stessa particolarità in studi sull'arrotondamento anticipatorio in un contesto /i C u/. L'inizio dell'arrotondamento coincideva con la fine del gesto della /i/ come predetto del modello Look-Ahead, mentre l'inizio della seconda fase, identificabile tramite un punto di massima accelerazione, è legato in maniera costante alla /u/. Gli autori allora proposero un modello, il "modello ibrido", che fosse un compromesso tra i modelli Look-Ahead e Time-Locked (vedi Figura 5a).

Matthies e lo stesso Perkell in uno studio successivo [17] videro che in alcuni soggetti non vi era una relazione fissa tra la seconda fase e la vocale arrotondata. Conclusero quindi che nessuno dei tre modelli anticipatori (look-ahead, time-locked, ibrido) poteva spiegare le relazioni temporali osservate nei dati.
- MODELLO AD "ESPANSIONE DEL MOVIMENTO".** E' un modello anticipatorio, proposto da Abry e Lallouache [18] basato sull'analisi di dati riguardanti il labbro superiore. In base all'analisi dei dati a loro disposizione stabilirono che il gesto vocale di protrusione labiale può espandersi per un tempo proporzionale alla durata della consonante precedente. L'influenza però non può essere ridotta entro un intervallo minimo che è stato valutato in circa 140ms. L'ammontare dell'espansione varia da soggetto a soggetto, mentre la soglia minima rimane pressoché costante (vedi Figura 5b).

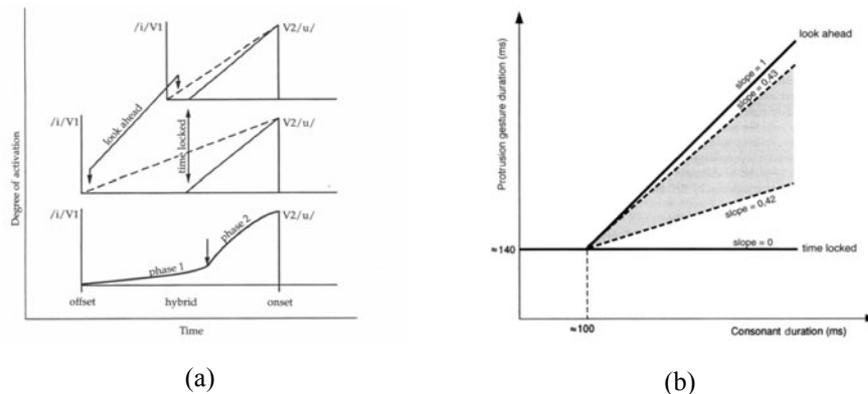


Figura 5. Rappresentazione schematica del modello ibrido proposto da Perkell (a) e il modello ad espansione del movimento (b).

#### 4. COARTICOLAZIONE LABIALE

Faremo ora alcune precisazioni per quanto riguarda la coarticolazione labiale. Innanzitutto si sottolinea che le vocali possono essere distinte in **arrotondate** (as esempio /o u/) e **non arrotondate** (e.g. /a e i/). Le implicazioni della caratteristica di arrotondamento in termini articolatori sono state oggetto di numerose studi in letteratura. I risultati stabiliscono che il particolare distintivo dell'arrotondamento è dato dall'apertura orizzontale delle labbra. In particolare per l'italiano, poi, il movimento di arrotondamento si verifica contemporaneamente alla protrusione delle labbra, cosa che non avviene in altre lingue. Per quanto riguarda le consonanti, queste possono essere classificate in **labiali**, dove le labbra

sono l'articolatore primario (e.g. /p b m f v/), **labializzate**, se le labbra agiscono come articolatore secondario (e.g. /s z/ per l'italiano), e **neutre**, quando la loro caratteristica labiale rimane non specificata (e.g. /n l/). Per quanto riguarda quest'ultime, è stato dimostrato che in realtà possono avere una loro conformazione labiale. In realtà tale aspetto è dipendente dalla lingua considerata e spesso anche dai singoli soggetti. Molti studi sulla coarticolazione labiale sono effettuati tramite l'analisi dell'attività muscolare attraverso l'elettromiografia. Gli studi elettromiografici nel loro complesso indicano che i movimenti labiali sono il risultato di una interazione molto complessa tra i muscoli labiali i cui dettagli non sono ancora del tutto chiari.

È da notarsi infine che se da una parte è stata riservata grande attenzione alle analisi sulla coarticolazione anticipatoria, poco si sa a riguardo di quella perseverativa. Alcuni studi effettuati confermano la teoria dell'estensione delle caratteristiche e mostrano un movimento perseverativo più lento e più lungo rispetto a quello anticipatorio. Altri risultati, tuttavia, sono in disaccordo e ne evidenziano una limitata estensione temporale.

## 5. ANIMAZIONE FACCIALE E COARTICOLAZIONE

Uno dei modelli più interessanti, spesso utilizzato nei sistemi di animazione facciale, è sicuramente quello adottato da Cohen e Massaro [19], ispirato dal modello gestuale di Löfqvist [12], [20]. Ad ogni singolo gesto articolatorio è associata una funzione di dominanza di caratteristiche simili a quelle dei gesti fonetici precedentemente descritti in relazione al modello di "coproduzione gestuale". Una funzione di dominanza è caratterizzata da una propria ampiezza, durata, e grado di attivazione. L'ampiezza determina l'importanza relativa del gesto per il segmento; la durata stabilisce l'estensione del movimento ed influisce sul grado di sovrapposizione fra segmenti; il grado di attivazione caratterizza il fatto che il gesto si avvia in modo più o meno graduale. Per i dettagli matematici e per una descrizione precisa dell'elaborazione del modello si può fare riferimento a [21], oppure a [22] in questo stesso volume, in cui si è descritta anche una variazione del modello originale ispirata ad alcuni dei modelli precedentemente introdotti. In particolare questo modello è stato utilizzato con successo nell'implementazione di due facce parlanti in italiano, GRETA [23-24] e LUCIA [22], [25], al fine di riprodurre il più fedelmente possibile i reali movimenti labiali coinvolti nella produzione vocale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Farnetani E. and Recasens D., "Coarticulation Models in Recent Speech Production Theories", in Hardcastle W.J. (editor), *Coarticulation in Speech Production*, Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
- [2] Lindblom B., "On Vowel Reduction", *Technical Report 29*, KTH, The Royal Institute of Technology, Speech Transmission Laboratory, Stockholm, 1963.
- [3] Öhman S., "Coarticulation in VCV utterances: spectrographic measurements", *Journal of Acoustical Society of America*, 1966, Vol. 39, pages 151-168.
- [4] Öhman S., "Numerical model of coarticulation", *Journal of Acoustical Society of America*, 1967, Vol. 41, pages 310-320.

- [5] Chomsky N. and Halle M., *The Sound Pattern of English*, Harper and Row, New York, NY, 1968.
- [6] Daniloff R. and Moll K., "On defining coarticulation", *Journal of Speech and Hearing Research*, 1973, Vol. 1, pages 239-248.
- [7] Henke W.L., *Dynamic articulatory model of speech production using computer simulation*, Unpublished doctoral dissertation, MIT Cambridge, Ma, 1966.
- [8] Kozhevnikov V. and Chistovich L., *Speech: Articulation and perception*, Joint Publications Research Service, Washington, DC, 1965, Vol. 30, series 534.
- [9] Keating P.A., "The window model of coarticulation: articulatory evidence", M.E. Beckam (editor), *Papers in Laboratory Phonetics I: between the grammar and the physics of speech*, Cambridge University Press, 1990, pages 451-470.
- [10] Benguerel A.P. and Cowan H., "Coarticulation of upper lip protrusion in French", *Phonetica*, 1974, Vol. 30, pages 41-55.
- [11] Bladon A. and Al-Bamerni A., "Coarticulation resistance in English", *Journal of Phonetics*, 1976, Vol. 4, pages 137-150.
- [12] Munhall K.G. and Löfqvist A., "Gestural aggregation in speech: laryngeal gestures", *Journal of Phonetics*, 1992, Vol. 20, pages 111-126.
- [13] Bell-Berti F. and Harris K.S., "A temporal model of speech production", *Phonetica*, 1981, Vol. 38, pages 9-20.
- [14] Salzman E.L. and Munhall K.G., "A dynamical approach to gestural patterning in speech production", *Ecological Psychology*, 1989, Vol. 1, number 4, pages 333-382.
- [15] Al-Bamerni A. and Blandon A., "One-stage and two-stage patterns of velar coarticulation", *Journal of the Acoustical Society of America*, 1982, Vol. 72, number 104.
- [16] Perkell J.S., "Testing theories of speech production: implications of some detailed analyses of variable articulatory data", in Hardcastle W.J., Marchal A. (eds.), *Speech Production and Speech Modelling*, Kluwer Publications, Dordrecht, 1990, pages 263-288.
- [17] Perkell J.S. and Matthies M., "Temporal measures of anticipatory labial coarticulation for the vowel/u/: within-and cross-subject variability", *Journal of the Acoustical Society of America*, 1992, Vol. 91, pages 2911-2925.
- [18] Abry C. and Lallouache M.T., "Does increasing representational complexity lead to more speech variability?", *Phonetic Experimental Research at the Institute of Linguistics*, University of Stockholm, 1991, number 14, pages 1-5.
- [19] Cohen M., Massaro D., "Modeling Coarticulation in Synthetic Visual Speech", in Magnenat-Thalmann N., Thalmann D. (eds.), *Models and Techniques in Computer Animation*, Springer Verlag, Tokyo, 1993, pages 139-156.
- [20] Löfqvist, A. "Speech as Audible Gestures", in Hardcastle W.J., Marchal A. (eds.), *Speech Production and Speech Modeling*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990, pages 289-322.

- [21] Cosi P., Perin G., "Labial Coarticulation Modeling for Realistic Facial Animation", in Proc. of ICMI '02, October 14-16, 2002 Pittsburgh, PA, USA.
- [22] Cosi P., Ferrari V., Magno Caldognetto E., Perin G., Tisato G., Zmarich C., "GRETA e LUCIA: due Realistiche Facce Parlanti Animate Mediante un Nuovo Modello di Coarticolazione", in Atti delle XIII Giornate di Studio GFS 2002, Pisa, 28-30 Novembre, 2002 (in questo volume).
- [23] Pasquariello S. (2000), Modello per l'animazione facciale in MPEG-4, M.S. thesis, University of Rome, 2000.
- [24] Pelachaud C., Magno Caldognetto E., Zmarich C., Cosi P. (2001), "Modelling an Italian Talking Head", in Proceedings of the International Conference on Auditory-Visual Speech Processing - AVSP'2001, Aalborg, Denmark, Settembre 7-9 2001, pages 72-77.
- [25] Cosi P., Ferrari V., Magno Caldognetto E., Perin G., Tisato G. and Zmarich C. (2003), "LUCIA a New Italian Talking-Head Based on a Modified Cohen-Masaro's Labial Coarticulation Model", (submitted to Eurospeech 2003).