



# Animazione Digitale

## lezione 8

**N. Alberto Borghese**

- Sistemi particellari e flocking
- Animazione facciale

N.B.: Il diritto di scaricare questo file è riservato solamente agli studenti regolarmente iscritti al corso di Animazione Digitale.



## I sistemi particellari ed i flocks

Presentano un *collective behavior*.

### **Sistemi particellari.**

- Grande quantità di particelle che costituiscono un conglomerato fuzzy.
- Ciascuna particella è molto semplice ed ha un comportamento molto semplice.
- Le interazioni sono definite solamente con l'ambiente.

### **Flocks**

- Gli elementi sono in numero minore.
- Hanno un comportamento fisico più complesso ed una quantità (limitata) di intelligenza.

L'impressione di un comportamento unitario è un *emergent behavior*.



## Ipotesi nei sistemi particellari



- Le particelle non collidono tra loro (si muovono sempre su piani diversi).
- Le particelle non fanno ombra alle sorgenti luminose (come particelle singole, non come tutto).
- Le particelle non riflettono/rifrangono la luce.
- Le particelle (come insieme) proiettano ombra solo sull'ambiente esterno (in alcuni casi).
- Per definire il comportamento delle particelle e fare sì che ciascuna si muova in modo diverso, si fa uso pesante della statistica (elementare).
- Le particelle nascono e muoiono in continuazione.

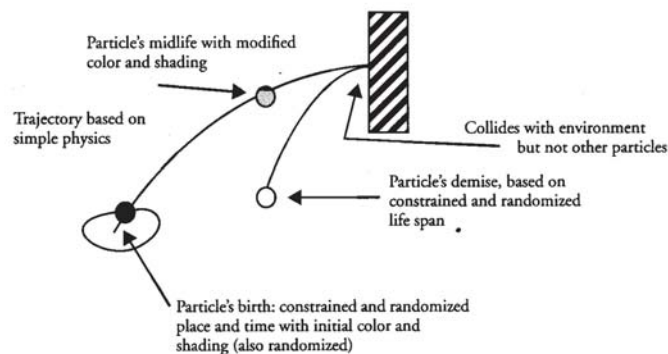


## Animazione particellare (I)



*Per ogni frame:*

- Vengono fatte nascere delle particelle (posizione).
- Vengono assegnati gli attributi.
- Vengono eliminate delle particelle (numero particella).
- Vengono mosse le particelle in vita.
- Viene effettuato il rendering.



La struttura dati può essere riutilizzata dalle particelle che nascono.



## Animazione particellare (II)



Le particelle vengono create secondo un processo stocastico:  
$$\#particelle = \#particelle + \text{Rand}() * \Delta\_ \#particelle.$$

### Attributi:

- Posizione.
- Velocità.
- Parametri di forma.
- Colore.
- Trasparenza.
- Tempo\_di\_vita.

*Sono quantità stocastiche.*

Ad ogni frame, le particelle che hanno vissuto tutta la loro vita, vengono eliminate.



## Animazione particellare (III)



Andamento temporale degli attributi delle particelle.

La velocità della particella è calcolata a partire dall'accelerazione che a sua volta è calcolata a partire da tutte le forze agenti sulla particella.

Campi di forze globali (gravità, campo elettrico, ma anche vento...).

Campi di forze locali (e.g. vortici).

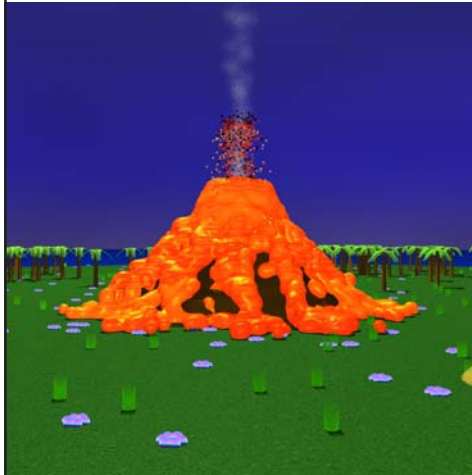
Gli altri attributi possono variare in funzione del tempo, oppure essere legati tra loro (e.g. la forma può variare in funzione della velocità).

Al valore calcolato degli attributi è quasi sempre aggiunta una componente stocastica.

Forze tra particelle richiedono una potenza di calcolo molto più elevata.



## Sistemi particellari



## Sistemi gassosi



**Metodi a griglia** (Formulazione di Eulero). Bilancio della massa entrante / uscente. Dalla densità istantanea si possono ricavare informazioni per il rendering volumetrico. Automi cellulari.

**Modelli a particelle** (Formulazione Lagrangiana). Ogni bolla di gas è una particella. Esplosione del numero di equazioni dinamiche.

**Modelli ibridi.** La griglia viene utilizzata per display, le equazioni della dinamica per il movimento.



## Clouds



Struttura complessa, composti di acqua e ghiaccio.

**Caratteristiche:**

Struttura volumetrica amorfa, dettagli a scale diverse.

Struttura dinamica.

Proprietà di interazione con la luce complessa.

Modellazione ed animazione mediante shaders 3D + unione  
mediante sovrapposizione parziale di sfere.



## Clouds e modellazione volumetrica



**Modellazione fisica.** Estremamente costosa e poco intuitiva  
(gradiente di pressione, temperatura...).

**Modellazione procedurale.** Parametri di controllo vicini  
alla pratica (animazione).

*Macro-livello* (modellazione della forma, volumi impliciti  
parzialmente sovrapposti).

*Micro-livello* (controlla la funzione densità all'interno della  
forma definita nel macro-livello).



## Clouds e modellazione volumetrica



**Modellazione fisica.** Estremamente costosa e poco intuitiva (gradiente di pressione, temperatura...).

**Modellazione procedurale.** Parametri di controllo vicini alla pratica (animazione).

*Macro-livello* (modellazione della forma, volumi impliciti parzialmente sovrapposti).

*Micro-livello* (controlla la funzione densità all'interno della forma definita nel macro-livello).



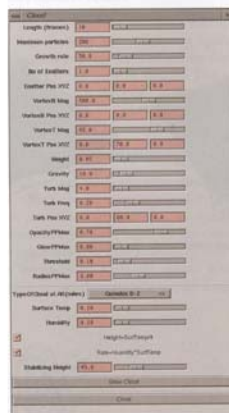
Plate 4. An example of cirrus and cirro-stratus clouds at sunset.



Plate 5. An example of a cumulus cloud.



Maya interface ->



Nuvole in Maya



## Flock = gregge, stormo

- Limitato numero di elementi.
- Elementi di dimensioni maggiori; non è prevista compenetrazione.
- Interattività tra gli elementi a vari livelli, non solo a livello basso (comportamento in seguito ad urto).

### *Motori di movimento:*

- Collision avoidance. Spazio vitale + ostacoli esterni.
- Flock centering. Forza di coesione. Rappresentazione locale: ogni elemento tende ad avvicinarsi all'elemento vicino.



## Controllo locale del flock

### *Per ciascun elemento posso definire:*

- Il comportamento fisico. Urto tra la struttura degli elementi (possono essere basati su scheletro) e l'ambiente.
- La percezione (il sistema sensoriale).
- Il ragionamento. Simile agli AVATAR. Elaborazione delle forze introdotte da flock centering e collision avoidance + forze originate dalla percezione + stato interno dell'elemento.
- L'azione (il sistema motorio).



## Proprietà di un flock



La percezione è fondamentalmente affidata alla **vista**.

Modellazione statica del flock dal punto di vista dell'elemento.  
Analisi di alcuni elementi più vicini.

Modellazione dinamica. Stima delle velocità relative degli elementi vicini.

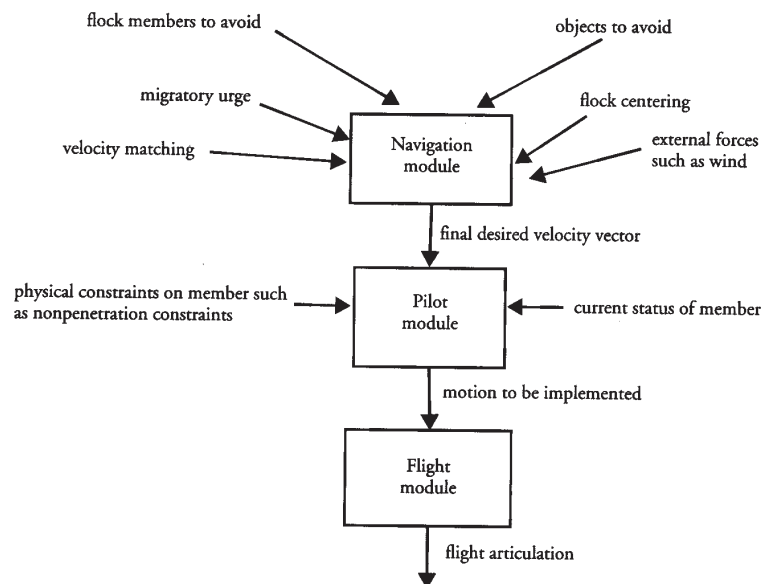
*Chorus line effect*: uno spostamento di direzione nel gregge si propaga come un'onda.

Il comportamento di un flock è determinato dal comportamento del **leader**.

Gli elementi possono: seguire il leader, seguire l'istinto migratorio o seguire il gregge o un mix.



## Come viene prodotto il movimento







## Riassunto



I sistemi particellari sono costituiti da un insieme di elementi uguali.

Ciascun elemento e' dotato di regole di interazione (urto, AI..).

Modellazione fisica del sistema (e.g. Navier-Stokes).

Modellazione procedurale (animator-oriented).

Nuvole, fumo, fuoco sono esempi di applicazione.



## Animazione facciale



*Comunicazione bimodale.*

Struttura comune (faccia + testa) , arrangemento dei muscoli.

Variabilità morfologica.

Variabilità nell'attivazione muscolare e nel derma.

4 tipi di animazione:

**Cartoni animati** compito principale è trasmettere una certa espressività

**Espressività realistica** il movimento deve aderire alle regole di produzione del movimento facciale nell'uomo (quali?).

**Telecomunicazioni ed interfaccia uomo-macchina**, requisiti di complessità computazionale sono impellenti.

**Lip-synch** non riguarda il solo movimento delle labbra ma di tutto l'apparato fonatorio visibile (mandibola + labbra + bocca + deformazione dei muscoli della lingua).



## Cartoni animati



Modelli semplici.  
Texture animata.

Modelli stilizzati



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR



## Tipi di animazione facciale



- Interpolazione.
- Performance-driven.
- Parametrizzazione-diretta.
- Basato su pseudo-muscoli.
- Basato su muscoli.

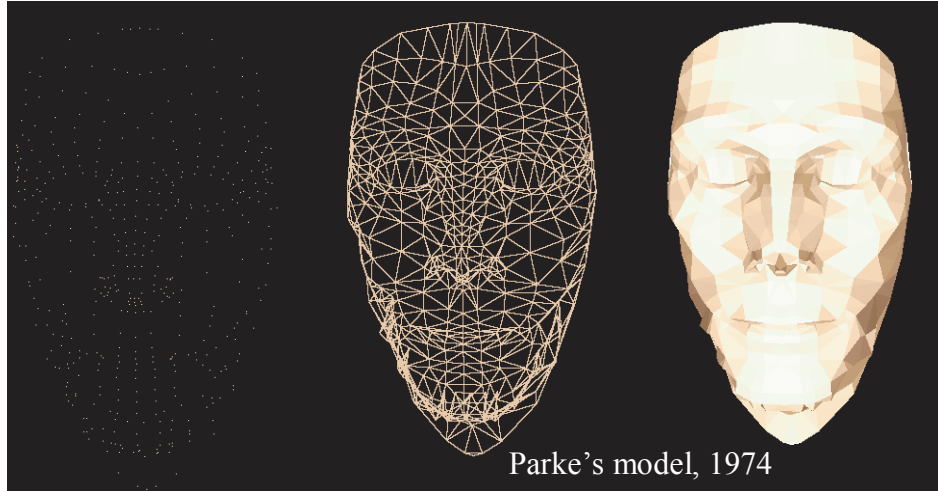


Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



# 1. Interpolazione (key-poses)



Parke's model, 1974

*Modello universale morfabile costituito da 478 punti e 920 lati (il modello originale era definito per metà volto).*



## Interpolazione avanzata



Regioni multiple indipendenti. E.g. parte superiore (emozioni) e parte inferiore (parlato).

Interpolazione non-lineare. E.g.

$$\text{value} = a * (\text{value}_2) + (1-a)*\text{value}_1$$

diventa

$$\text{value} = \cos^2(a) * \text{value}_2 + (1-\cos^2(a)) * \text{value}_1$$

**Limite:** gran numero di espressioni facciali che devono essere acquisite con accuratezza.



## Maria Callas: Virtual Tosca



## 2. Performance-driven



Animazione basata sulla misura in tempo reale del movimento di un attore (motion capture, ma anche data-glove).

### Tipi di performance-driven:

- Expression mapping
- Model-based persona transmission





## Expression mapping



- Immagini di 20 espressioni.
- Identificazione delle corrispondenze tra immagine e personaggio in posizione neutrale.
- Calcolo del campo di deformazione per la persona.
- Applicazione del campo di deformazione al personaggio (possibilità di esagerazione dell'espressione).
  
- Tony de Peltrie, 1985.



## Model-based Persona Transmission

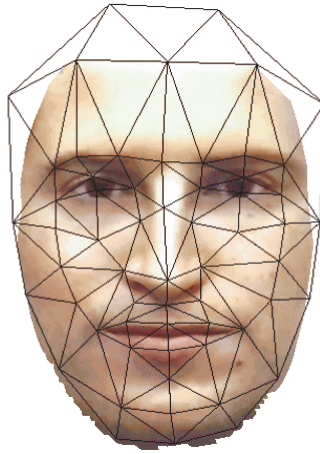


Identificazione in tempo reale di opportune feature sulle immagini.





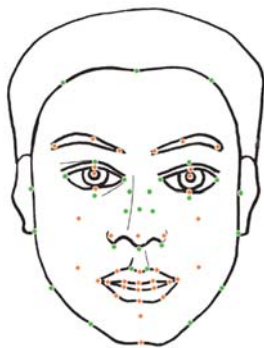
## Two-layers technique



- Deformation of a topological mesh induced by a control mesh.
- The control mesh connects the marker points.



## Markers disposition



Position of the feature points according to MPEG-4 standard:

- ◆ principali
- secondari



*Problems with:*  
Eyes and tongue.  
Nose basis (visibility).



## Construction of the Control Mesh



### 47 markers on the skin:

- Problems with:
  - Eyes and tongue.
  - Nose basis (visibility).

### 4 markers on an elastic band:

To identify a local Reference Frame (LRF).

- 51 Markers acquired (cf. MPEG-4 specifications).
- 7 virtual markers defined through the LRF (green).
- 2 Virtual markers defined through Real Markers (blue).
- 56 control points for the mesh + 4 for LRF.



## Disgusto







# Paura



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



# Rabbia



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>





## Sorpresa



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



## Tristezza



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



## Felicità



## Verso l'animazione fisica

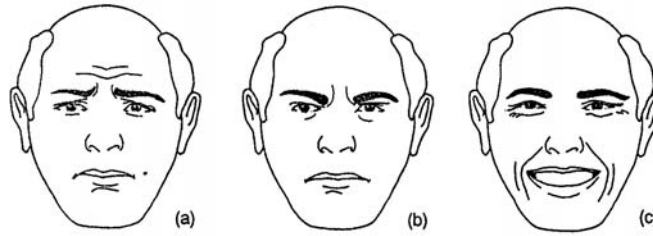




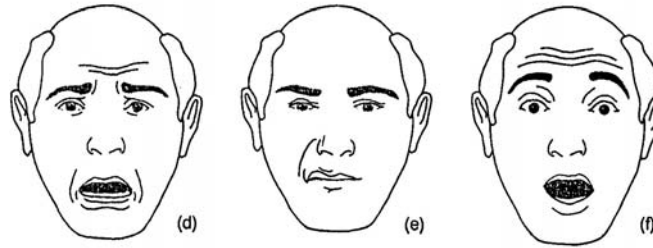
## Struttura espressiva della faccia



- Espressioni principalmente marcate in occhi, sopracciglia e bocca.

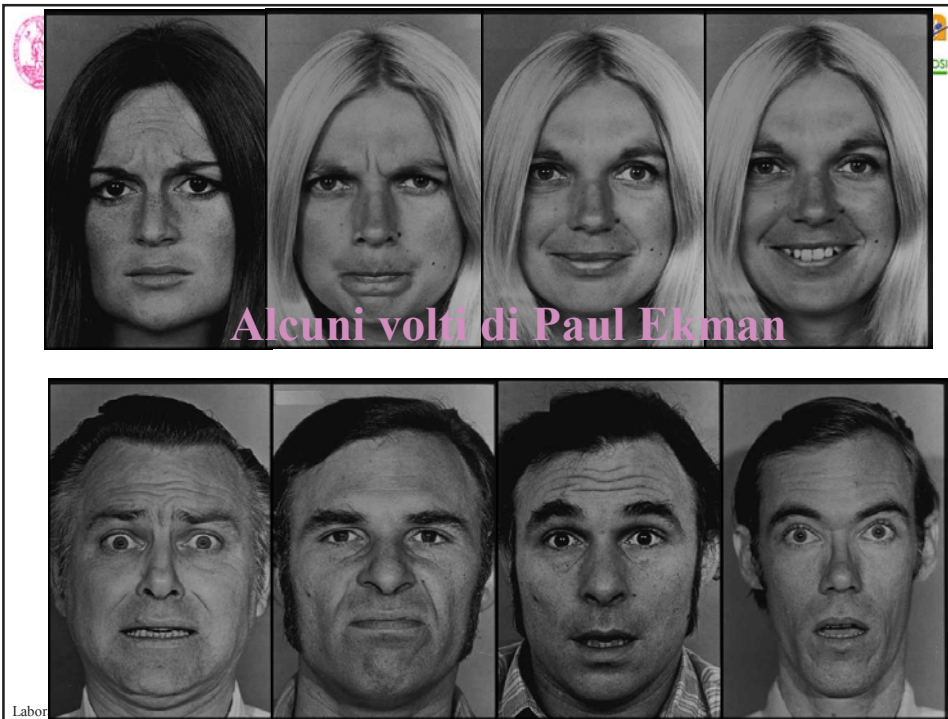


- Espressioni somatiche: dolore, sonnolenza, fame, attenzione, shock...



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



Alcuni volti di Paul Ekman

Labor

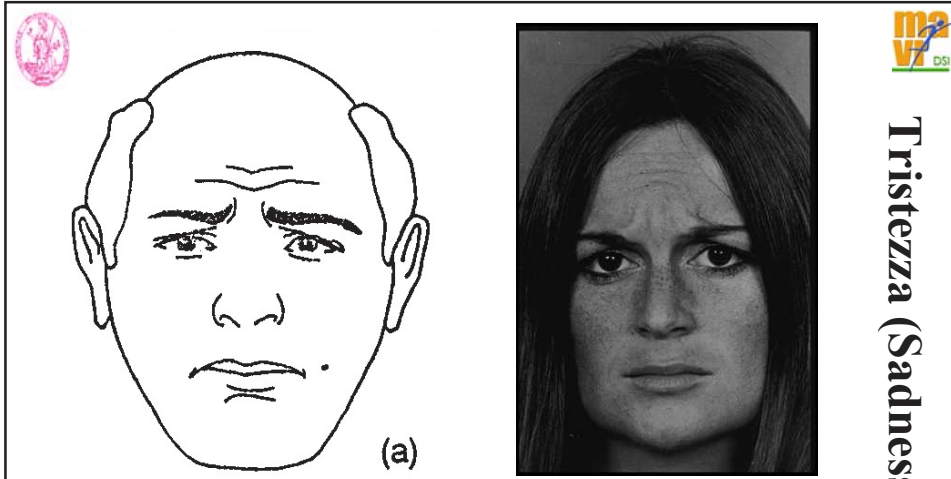


Diagram (a) shows a line drawing of a human face with a sad expression. The eyebrows are slanted upwards at the inner corners, the eyes are slightly squinted, and the mouth is downturned at the corners. A photograph of a woman's face next to it shows these features in a real-life context.

**Tristezza (Sadness)**

- Porzione interna delle sopracciglia piegata all'insù.
- Pelle e tessuto molle sotto le sopracciglia arrotolato sopra le palpebre.
- Gli occhi si chiudono un po' per la pressione del tessuto sopra le sopracciglia.
- Rughe di espressione:** centro della fronte, tracce verticali tra gli occhi, rughe oblique sopra le palpebre superiori e una piega simile al sorriso sotto il labbro inferiore.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

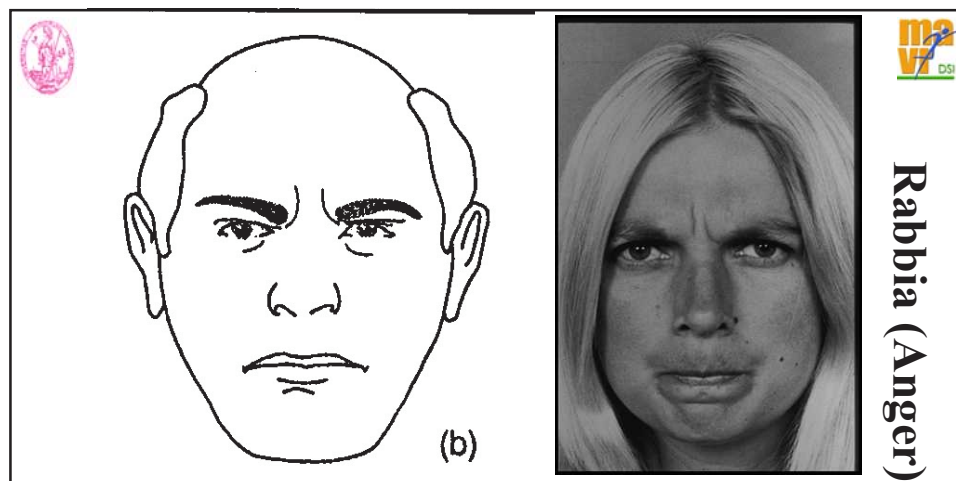



Diagram (b) shows a line drawing of a human face with an angry expression. The eyebrows are slanted downwards at the inner corners, the eyes are wide open, and the mouth is closed with a slight frown. A photograph of a woman's face next to it shows these features in a real-life context.

**Rabbia (Anger)**

- Angoli interni delle sopracciglia sono tirati verso il basso e avvicinati.
- Gli occhi sono ben aperti, ma la pressione da parte della fronte impedisce alla pupilla di essere completamente scoperta.
- La bocca è chiusa con il labbro superiore leggermente squadrato.
- Rughe di espressione:** Sopra la palpebra superiore e verticali tra le sopracciglia.

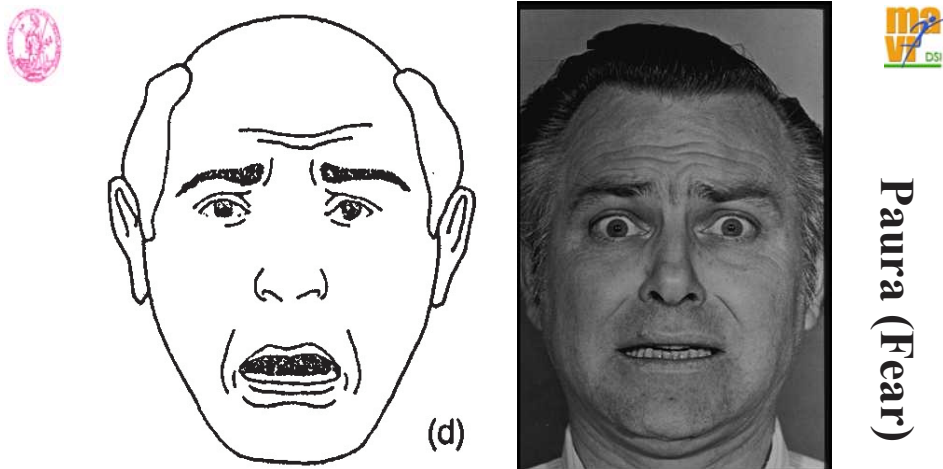
Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



**Gioia (Joy)**

- Sopracciglia rilassate e palpebre superiori abbassate leggermente.
- Palpebre inferiori stirate in quanto sospinte verso l'alto dalla parte superiore della guancia.
- Bocca allargata con gli angoli tirati indietro verso le orecchie.
- Se la bocca è chiusa, le labbra vengono premute leggermente indietro.
- Se la bocca è aperta, il labbro superiore è diritto, ed i denti superiori vengono mostrati.
- Rughe di espressione:** centro della fronte, tracce verticali tra occhi, rughe oblique sopra le palpebre superiori; piega sotto il labbro inferiore.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



**Paura (Fear)**

- Sopracciglia sollevate e tirate una verso l'altra. La parte interna delle sopracciglia è curvata verso l'alto. Gli occhi sono aperti. La bocca può rimanere leggermente aperta e stirata di lato .
- Rughe di espressione:** centro della fronte, tracce verticali tra gli occhi, rughe oblique sopra le palpebre superiori e una piega simile al sorriso sotto il labbro inferiore.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

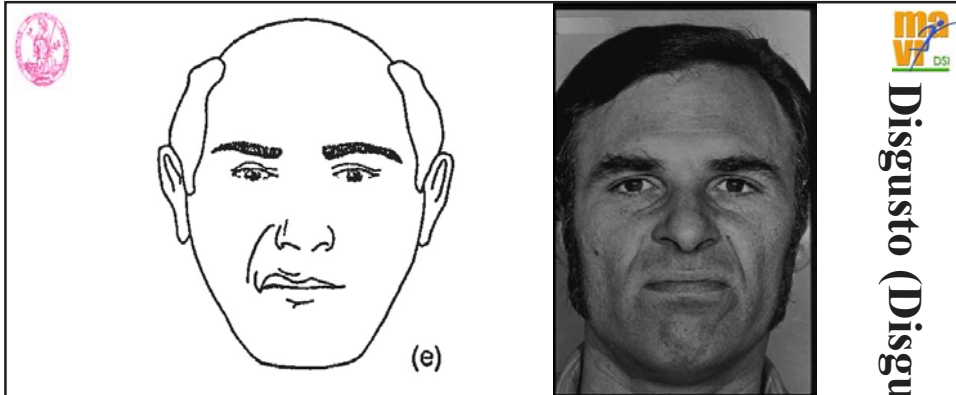


Diagram (e) shows a line drawing of a face with relaxed eyebrows, slightly closed eyelids, an asymmetrical raised upper lip showing teeth, and a deep nasolabial fold. The photograph shows a man with these features.

**Disgusto (Disgust)**

- Sopracciglia rilassate. Palpebre rilassate o leggermente chiuse.
- Labbro superiore alzato a formare una protuberanza, spesso asimmetrica, attraverso cui si mostrano i denti.
- Labbro inferiore rilassato o leggermente spinto verso l'alto.
- Profonda piega naso-labiale di fianco al naso.
- Rughe espressive tra i due lati della fronte, zampe di gallina e pieghe sulla palpebra inferiore, rughe piccole dall'angolo inferiore dell'occhio attraverso il naso, e una fossetta sul mento.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>

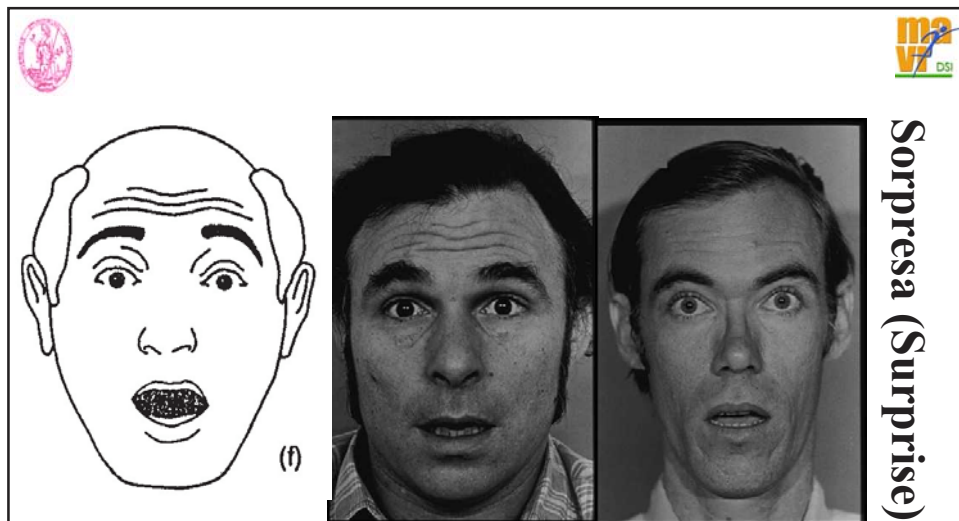


Diagram (f) shows a line drawing of a face with highly arched eyebrows, wide-open eyes, and an open, oval-shaped mouth. The photographs show a man with these features.

**Sorpresa (Surprise)**

- Sopracciglia sollevate il più in alto possibile.
- Palpebre superiori il più aperte possibili e palpebre inferiori rilassate.
- Bocca spalancata senza tensione muscolare, forma ovale.
- Rughe di espressione** orizzontali attraverso la fronte.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>





## Expression coding system



- Hjortsjo (1970) **The Mimic Language.**

- Paul Ekman (1978) **The Facial Action Coding System.**

Descrizione di tutte le unità di azione (*Action Units*).

Descrizione cinematografica.

“FACS ALLOWS THE DESCRIPTION OF ALL FACIAL BEHAVIOR WE HAVE OBSERVED, AND EVERY FACIAL ACTION WE HAVE ATTEMPTED” (P. Ekman).

FACS è stato sviluppato per categorizzare le espressioni facciali in psicologia; la computer grafica ha preso in prestito il FACS per l'animazione.



## Come è stato sviluppato il FACS



- Determinare quali muscoli possono essere attivati **indipendentemente** e determinare come questi muscoli modificano l'apparenza della faccia.
- La corrispondenza tra muscoli e Action Units è molti a molti.
- Identificare le azioni elementari associate. Viene definita un'unica azione elementare quando più muscoli producono lo stesso movimento elementare.
- Le Action Units sono in totale 46. *Vengono attivate in misura diversa in ogni espressione → Vengono sommate per produrre le espressioni facciali.*
- Problemi nella descrizione esatta del movimento della mandibola e della labbra.

AU	FACS Name	Muscular Basis
1	Inner Brow Raiser	Frontalis, Pars Medialis
2	Outer Brow Raiser	Frontalis, Pars Lateralis
4	Brow Raiser	Depressor Glabellae,
		Depressor Supercilli, Corrugator
5	Upper-Lid Raiser	Levator Palpebrae Superioris
6	Cheek Raiser	Orbicularis Oculi, Pars Orbitalis
7	Lid Tightener	Orbicularis Oculi, Pars Palpebralis
8	Lips Together	Orbicularis Oris
9	Nose Wrinkler	Levator Labii Superioris, Alaeque Nasi
10	Upper-Lip Raiser	Levator Labii Superioris,
		Caput Infraorbitalis
11	Nasolabial Furrow Deepener	Zygomatic Minor
12	Lip Corner Puller	Zygomatic Major
13	Cheek Puffer	Caninus
14	Dimpler	Buccinator
15	Lip Corner Depressor	Triangularis
16	Lower-Lip Depressor	Depressor Labii
17	Chin Raiser	Mentalis
18	Lip Puckerer	Incisivii Labii Superioris,
		Incisivii Labii Inferioris
20	Lip Stretcher	Risorius
22	Lip Funneler	Orbicularis Oris
23	Lip Tightener	Orbicularis Oris
24	Lip Pressor	Orbicularis Oris
25	Parting of Lips	Depressor Labii, or relaxation of
		Mentalis or Orbicularis Oris
26	Jaw Drop	Masseter; relaxed Temporal and Internal Pterygoid
27	Mouth Stretch	Pterygoids; Digastric
28	Lip Suck	Orbicularis Oris
38	Nostril Dilator	Nasalis, Pars Alaris
39	Nostril Compressor	Nasalis, Pars Transversa and
		Depressor Septi Nasi
41	Lid Droop	Relaxation of Levator Palpebrae Superioris
42	Eyelid Silt	Orbicularis Oculi
43	Eyes Closed	Relaxation of Levator Palpebrae Superioris
44	Squint	Orbicularis Oculi, Pars Palpebralis
45	Blink	Relax Levator Palpebrae and then contract
		Orbicularis Oculi, Pars Palpebralis
46	Wink	Orbicularis Oculi

AU	FACS Name
19	Tongue Out
21	Neck Tightener
29	Jaw Thrust
30	Jaw Sideways
31	Jaw Clencher
32	Lip Bite
33	Cheek Blow
34	Cheek Puff
35	Cheek Suck
36	Tongue Bulge
37	Lip Wipe

## Le action Units (AU)



## Tipi di animazione facciale



- Interpolazione.
- Performance-driven.
- Parametrizzazione-diretta.
- Basato su pseudo-muscoli.
- Basato su muscoli.



Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



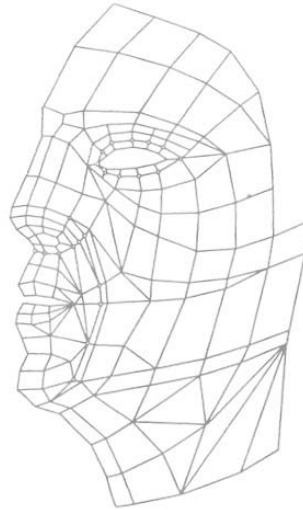


### 3. Parametrizzazione diretta



Modello universale + pochi parametri per adattare il modello o ottenere una “key pose”.

Rappresentazione cinematica della complessità fisica dei volti.



### Modellizzazione parametrica



Fondamenta della parametrizzazione;

Scelta dei parametri;

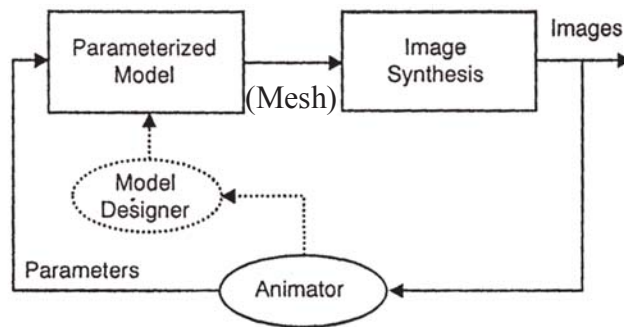
Deformazione del modello (agendo sui parametri) a partire da immagini o video.



## Fondamenta della parametrizzazione



- Classe di oggetti.
- Ciasun membro (oggetto) è definito mediante attributi.
- Se questi attributi possono essere ordinati vengono chiamati **parametri**.
- Se c'è corrispondenza biunivoca tra insiemi di attributi ed oggetti della classe, la parametrizzazione si dice **completa**.



Le immagini possono essere semplici (stilizzate) o complesse (textured).



## Parametrizzazione del volto



- 1) *Definizione dei parametri*
- 2) *Associazione dei parametri al modello.*

Parametri di conformazione del volto (modellazione).  
Parametri di espressione (animazione). FACS.

Qualità desiderate:

- Ampiezza di espressioni.
- Semplicità e naturalezza.
- Dimensionalità del set dei parametri.
- Ortogonalità.
- Possibilità di essere gestito da un livello più alto di controllo.



## Una possibile implementazione (modello di Parke)



Modello costituito da una mesh 3D, ispirato all'anatomia.  
Obiettivo: replicare l'aspetto del volto nelle espressioni con pochi parametri.

Modifica della mesh indotta dalle modifiche delle feature (parametri di controllo).

**La modifica è ottenuta solamente mediante spostamento dei vertici.**

Applicazione del rendering alla mesh modificata (in tempo reale).



## Topologia poligonale



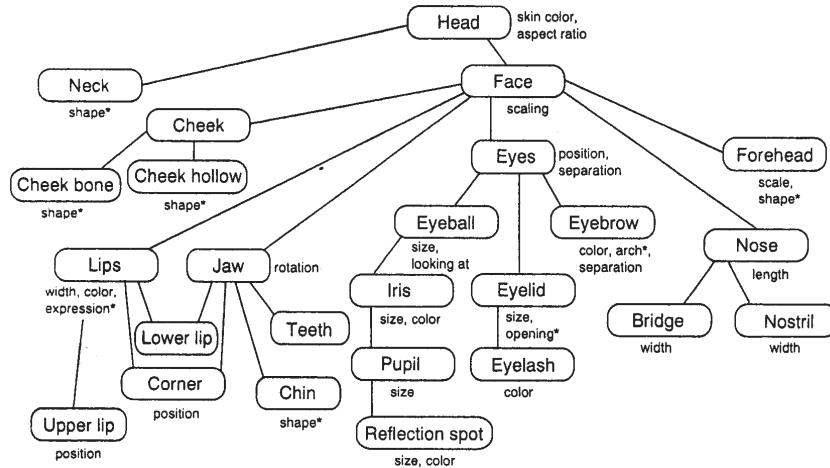
Modello adattato all'animazione.

Rughe di espressione possono essere aggiunte come discontinuità delle normali ai vertici.





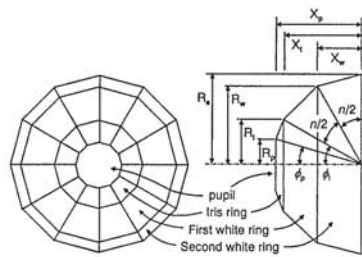
# Volto universale come base per le espressioni



Parametri agiscono su **gruppi di vertici** (quasi-località) mediante operazioni elementari: Interpolazione di forma; costruzione procedurale; rotazione; scala ed offset.

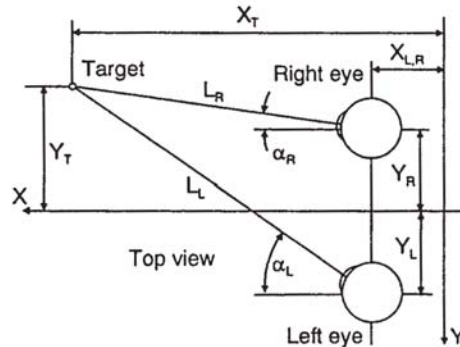


# Gli occhi

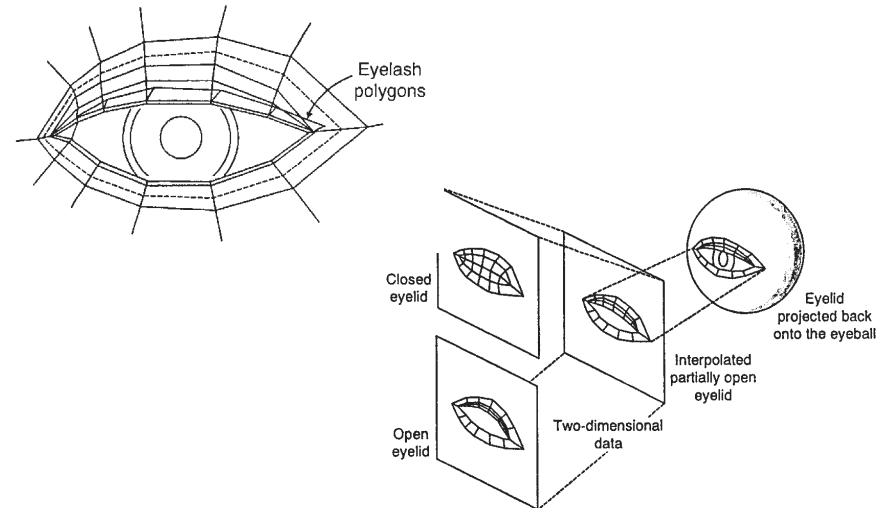


Semi-sfere concentriche con diverso colore e proprietà di riflettanza.

Animazione coordinata dal meccanismo della vergenza.



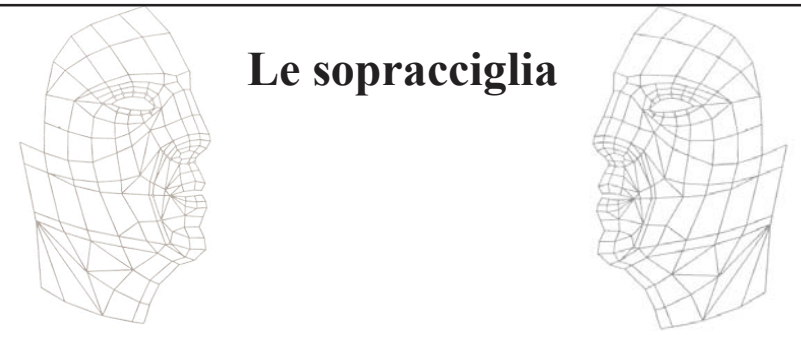
**Le palpebre**



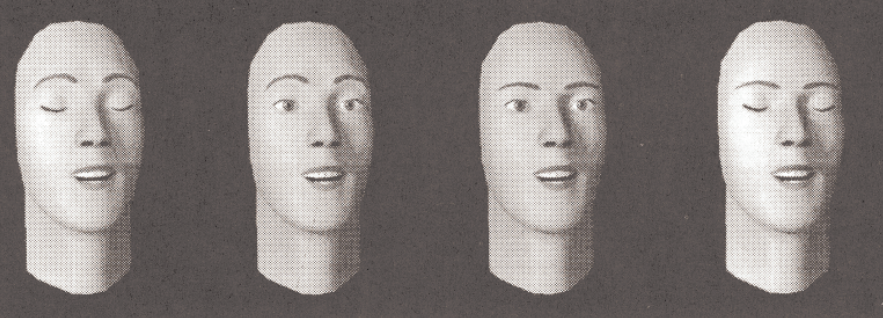
The diagram illustrates the modeling of eyelids. On the left, a wireframe eye is shown with 'Eyelash polygons' labeled. On the right, a 3D perspective shows 'Closed eyelid' and 'Open eyelid' data planes. These are combined into 'Two-dimensional data' which is then 'Interpolated partially open eyelid'. Finally, the 'Eyelid projected back onto the eyeball' is shown in a circular inset.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR

**Le sopracciglia**



Two wireframe head models are shown, illustrating the placement and modeling of the eyebrows on the face.



A sequence of four rendered human faces showing different expressions and eye states: closed eyes, looking left, looking forward, and closed eyes.

Laboratory of Motion Analysis & Virtual Reality, MAVR <http://homes.dsi.unimi.it/~borghese/>



## La bocca e la mandibola



Apertura:

rotazione attorno all'asse per i condili.  
tapering nella regione del labbro inferiore.

Movimento verticale labbro superiore che decade lateralmente.

Parametri "fonetici": arrotondamento, protrusione.

Thickness delle labbra.



## 4. Animazione con pseudo-muscoli (Magenat-Thalman et al., 1988)



Basata su AU più complesse di quelle del FACS.

Esempio delle procedure dell'AMA (Abstract Muscle Action):

*Chiusura del Labbro Superiore*

*Chiusura del Labbro inferiore.*

*Azionamento Palpebra destra*

*Azionamento Palpebra sinistra.*

*Zigomatico destro*

*Zigomatico sinistro.*

*Azionamento Sopracciglio destro*

*Azionamento Sopracciglio sinistro.*

*Sollevatore labbro sinistro*

*Sollevatore Labbro destro.*

*Movimento orizzontale Occhio dx*

*Movimento orizzontale Occhio sx*

*Movimento verticale Occhio dx*

*Movimento verticale Occhio sx*

*Movimento verticale Mandibola*

*Compressione Labbra*

Spazio di controllo semplificato.

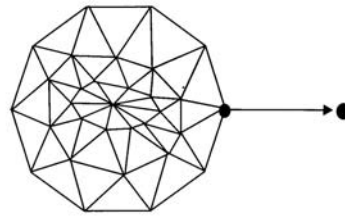
I movimenti sono non-commutativi.



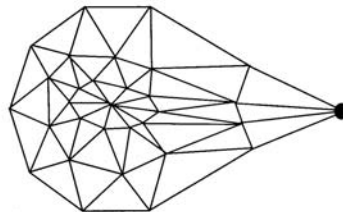
## Come propagare l'attivazione degli pseudo-muscoli?



Free-form deformation +  
parametric deformation.



Displacement of seed vertex



Metriche:

- Distanza Euclidea.
- Distanza sulla superficie.
- Numero di vertici.



## 5. Animazione mediante muscoli



Modellazione fisica (dinamica).

Ipotesi semplificative e trattamento mediante FEA o nodi.

Elementi altamente non-lineari:

- Isteresi.
- Rilassamento da stress.
- Aumento dello stiramento col tempo.
- Precondizionamento.

E poi?



## Riassunto: tipi di animazione facciale



- Interpolazione.
- Performance-driven.
- Parametrizzazione-diretta.
- Basato su pseudo-muscoli.
- Basato su muscoli.

