

Forma ed emozione

Chiara Eva Catalano

Abstract

La gradevolezza di un oggetto dipende fortemente dall'individuo che lo osserva; l'uomo è influenzato, infatti, da molteplici fattori: la percezione, la cultura, l'ambiente sono tra questi. Ci sono, però, degli elementi che, comunemente, inducono determinate sensazioni, quali, ad esempio, il colore e la similarità con forme note. Spostandosi alla fase di creazione, quando uno stilista esegue uno schizzo, cerca di dare all'oggetto una forte connotazione a livello emozionale e ottiene questo risultato tracciando delle linee caratterizzanti. La forma e, di conseguenza, la geometria, sono dunque elementi fondamentali a livello di percezione emotiva.

Lo scopo del lavoro è quello di identificare le proprietà geometriche che regolano gli effetti di queste linee portanti del disegno, passando così dall'ambito della percezione a quello della matematica. Il discorso è finalizzato a fornire nuovi strumenti di modellazione per la progettazione mediante calcolatore. Si vuole permettere allo stilista la modifica delle linee di carattere nel modo più intuitivo possibile, evitando l'utilizzo diretto di entità geometriche di basso livello. In particolare, vengono proposti due possibili approcci al problema (al momento limitati alle curve piane) che sfruttano, rispettivamente, algoritmi definiti per la trasformazione di una curva in una curva target e le proprietà delle NURBS.

1 Introduzione

In un mercato in cui è vasta l'offerta di prodotti analoghi, l'impatto estetico diventa un elemento preferenziale nelle scelte dei consumatori. Il problema della "gradevolezza", che ricerca attraverso cosa e con quali effetti determinate qualità vengono percepite dal soggetto, è affrontato in modo sistematico dalle aziende, in quanto l'articolo deve risultare piacevole ancora prima di aver verificato le sue proprietà funzionali.

Sono stati effettuati studi per proporre strumenti di analisi delle sensazioni soggettive, fortemente legate sia agli aspetti fisiologici (la percezione, l'evoluzione sociale dei 'gusti') sia a quelli antropologici (la storia, la cultura,...). Comunque, l'interesse per il rapporto tra

forma e percezione non è nato esclusivamente da esigenze di marketing, ma si era già manifestato, in tempi più lontani, nel campo della psicologia e dell'arte.

1.1 Background culturale

L'azione del guardare è uno scambio tra le proprietà dell'oggetto e la natura dell'osservatore: è, quindi, un'interazione di forze. La Scuola di Psicologia della **Gestalt**, negli anni '20, ha indagato proprio queste relazioni, fornendo leggi sull'organizzazione visiva. In particolare, ha constatato che, nei limiti del condizionamento ambientale, si dà la preferenza alle caratteristiche di regolarità: simmetria, forma chiusa, uniformità, equilibrio, semplicità, essenzialità, ma anche vicinanza, movimento comune, consuetudine. Non è, però, riuscita a spiegare come avviene il processo del raggruppamento in un individuo posto davanti ad un'immagine composita [ref. tutorial Eurographics '95].

Il linguaggio della forma si basa su concetti antropomorfi; ad esempio, la ripetizione di motivi simmetrici produce un effetto tranquillizzante poiché prevedibile (inoltre l'uomo è a simmetria bilaterale). Secondo l'**Arnheim** (ref...), di una forma trapassa principalmente la sua interpretazione simbolica che non prescinde, comunque, dalla sua configurazione materiale e che si fonda su analogie spontanee, universalmente percepite tra forma e comportamenti umanamente significativi. Per questo motivo, colpiscono maggiormente le forme semplici che corrispondono alle basilari e più significative esperienze dell'uomo. D'altro canto, però, enti geometrici elementari come il cubo, la sfera, il cilindro, risultano ambigui in quanto possono suggerire più letture (Van Oicke, ref...). Generalmente, il cubo viene associato al mondo materiale, ma anche alla saggezza, alla verità, alla stabilità; la sfera al mondo celeste, all'androgino, alla perfezione, alla fortuna; il cilindro rimanda all'albero della vita, alla potenza.

In letteratura, è frequente la distinzione tra **forma analitica** e **forma organica** (Ottolini??). Vi sono delle caratterizzazioni che, seppur diverse, vengono di solito associate a forme analoghe. Per maggior chiarezza, si osservi la tabella che segue. Alla prima categoria appartengono quegli aggettivi che richiamano l'idea di freddezza: è naturale descriverli tramite linee rette o spigoli più accentuati. Della seconda fanno parte le qualità che si associano all'idea di calore e di maternità: verranno legate a cerchi e a linee arrotondate.

Analitico

Maschile

Aggressivo

Organico

Femminile

Dolce

Tecnologico	Biologico
Rigido	Morbido
Forte	Delicato
Discontinuo	Continuo
Freddo	Caldo
Artificiale	Naturale

Di fronte alla contrapposizione hard-soft, l'una espressa mediante spigoli vivi e tagli, l'altra tramite contorni arrotondati, levigati, nell'individuo affiora, seppure a livello inconscio, quella tra morte e vita, tra maschile e femminile.



Fig.?? Forma analitica e forma organica

******altro*??*****

Un importante contributo in questo senso è stato dato da **Kandinsky** che, in *Punto, linea, superficie* (ref...), tenta di individuare la natura e le proprietà degli elementi fondamentali della forma; l'autore crede che, come ultimo passo, i problemi si sarebbero dovuti risolvere tramite la matematica, ma si ferma prima di procedere a questo livello di formalizzazione.

Nel trattato, il *punto* viene considerato come la forma più concisa del tempo, la *retta* come la forma più concisa dell'infinita possibilità di movimento; quest'ultimo è espresso dalla tensione e dalla direzione (il punto ha una sola tensione e non ha direzione).

L'orientamento e la posizione della retta (o del punto) rispetto alla superficie di fondo provocano sensazioni legate a suono, colore, temperatura. Un discorso analogo può essere fatto per gli *angoli* e le *superfici*. Di seguito, si riportano alcune tabelle che riassumono sommariamente i concetti principali.

Retta	Suono	Colore	Temperatura
Orizzontale	freddezza, piattezza	nero (silenzio),	movimento freddo

	giacere, portare passivo, femminile	azzurro in rapporto a temperatura e luce	
Verticale	altezza, muoversi, salire verso l'alto, crescere attivo, maschile	bianco (silenzio), giallo in rapporto a temperatura e luce	movimento caldo
Diagonale	uguale inclinazione verso le precedenti	rosso in rapporto a temperatura e luce (o grigio o verde)	movimento freddo-caldo
Libera centrale	avanzare e retrocedere (tensione)	giallo, azzurro multicolore	non possono raggiungere l'equilibrio freddo-caldo
Libera acentrale	hanno abbandonato l'elemento della quiete (sembrano perforare la superficie)	giallo, azzurro multicolore	non possono raggiungere l'equilibrio freddo-caldo

Tab.1. Caratterizzazione delle rette

Angolo	Colore	Suono	Carattere
Acuto	giallo (internamente)	attivo, caldo (massima tensione)	acutezza, attività di pensiero interiore (visione)
Retto	rosso	freddo, controllato	attuazione perfetta (realizzazione)
Ottuso	azzurro (lieve tensione in avanti)	debole, goffo, passivo	insoddisfazione e debolezza

Tab. 2. Caratterizzazione degli angoli

Superficie (linea spezzata)	Componenti	Risultato*
Triangolo (angolo acuto)	Orizzontale (nero=azzurro) + Diagonale (rosso)	Giallo
Quadrato (angolo retto)	Orizzontale (nero=azzurro) +Verticale (bianco=giallo)	Rosso
Cerchio (angolo ottuso)	Tensione attiva (giallo) + Tensione passiva (rosso)	Azzurro

*La somma dà la terza componente primaria

Tab. 3. Caratterizzazione delle superfici elementari

Si nota come non si possano stabilire corrispondenze valevoli indipendentemente dal **contesto** in cui sono posti gli elementi e come l'interazione tra più forme produca un risultato più ricco rispetto alla somma delle parti.

Nel testo, l'analisi viene estesa anche alle *linee spezzate* e *curve*: la spezzata crea un contatto più intenso con la superficie rispetto alla retta e il valore che ne deriva dipende dagli angoli formati; nella curva, non ci sono angoli, ma archi che hanno forza maggiore anche se meno aggressivi. E' naturale, allora, contrapporre la retta alla curva, il triangolo al cerchio.

La trattazione introduce anche un discorso di **proporzioni**: fino a quando un punto o una linea si possono considerare tali e non superfici? Ovviamente, il confine è labile e difficilmente collocabile; una risposta meno ambigua può essere fornita comparando le dimensioni fra gli elementi della composizione e rispetto allo sfondo in cui giacciono le figure: questi rapporti influenzeranno notevolmente l'effetto dell'insieme.

1.2 Design e geometria

Un prodotto, dunque, viene rielaborato sia in base alla percezione e alle esperienze del progettista in fase di realizzazione sia a quelle dell'utente in fase di fruizione e queste non si possono codificare facilmente. Poiché la lettura dell'oggetto cambia a seconda dei diversi punti di vista, si deve cercare di sintetizzare i vari linguaggi in un linguaggio comune, distinguendo i vincoli primari da quelli da cui non si può prescindere: si deve trovare una relazione "oggettiva" tra gli aspetti esclusivamente formali e quelli emozionali (e culturali) per utilizzarla all'interno del processo progettuale.

Proprio a tal fine, ma senza alcuna pretesa di rigore, è stato proposto un **test** ad alcuni partner del progetto FIORES (dire qualcosa??) e ai collaboratori dell'IMA. Sono state mostrate delle figure elementari e si è chiesto di scegliere da una lista di sostantivi quello che descrivesse con maggior precisione la sensazione suscitata da ogni figura. Le immagini presentate erano le seguenti:



e questa la lista dei sostantivi:

apertura	chiusura	divertimento	orgoglio	eleganza
domanda	stabilità	instabilità	perfezione	tradizione
calma	paura	aggressività	prudenza.	

Si è notato che la provenienza da uno stesso ambiente ha prodotto delle analogie nelle risposte degli intervistati. Ad esempio, nell'ambito di FIORES, la diversa nazionalità dei soggetti ha avuto un certo peso: i giudizi degli italiani e spagnoli erano più simili tra loro rispetto a quelli dei tedeschi o degli scandinavi. Nel caso dell'IMA, le differenze sono state meno visibili in quanto è affine il background dei ricercatori. La varietà nei risultati è dovuta principalmente ad un problema di **ambiguità**

- 2 nell'*orientamento*: la direzione in cui le figure sono state guardate -da sinistra verso destra da alcuni, nel verso opposto da altri- ha contribuito a diversificare le interpretazioni, addirittura divergenti in certi casi (soprattutto relativamente alla 3° e alla 4° immagine);
- 3 nel *linguaggio*: la stessa sensazione veniva espressa con sostantivi diversi o, viceversa, alcune parole non avevano per tutti lo stesso significato e ciò ha provocato differenze non corrispondenti alle intenzioni reali.

Come già accennato, si è voluto proporre questo test per ottenere delle indicazioni meno vaghe relativamente al rapporto tra la geometria dell'immagine e le sensazioni degli osservatori. Quando un designer esegue uno schizzo, tratteggia l'oggetto in modo tale da dargli una connotazione forte a livello percettivo e quindi un primo risultato che si vuole raggiungere è quello di chiarire quali sono gli elementi che concorrono a suscitare determinate emozioni. Tra questi, non si possono certo trascurare il colore e la similarità con forme conosciute (in particolare, sono evocative quelle che richiamano oggetti presenti in natura), ma ci si può spingere oltre.

Si intravede un legame anche fra la percezione dell'individuo di fronte all'oggetto e la traduzione grafica di quest'ultimo in entità geometriche. E' tramite linee e superfici che il designer caratterizza il prodotto e il rafforzamento o l'attenuazione di un particolare effetto si tradurrà nella modifica di alcune linee di costruzione. Si veda, ad esempio, come il carattere dell'automobile in figura sia dato da due o tre linee e dalla loro curvatura:

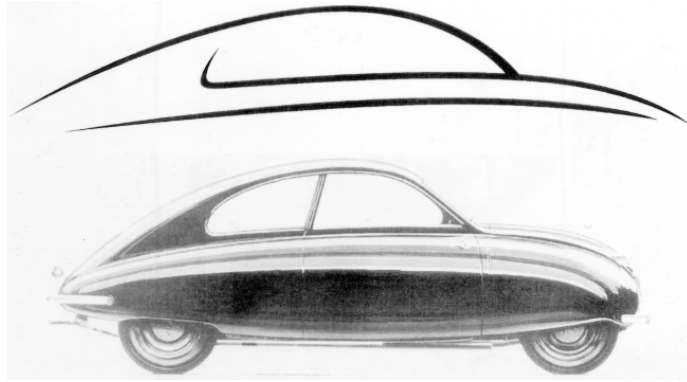
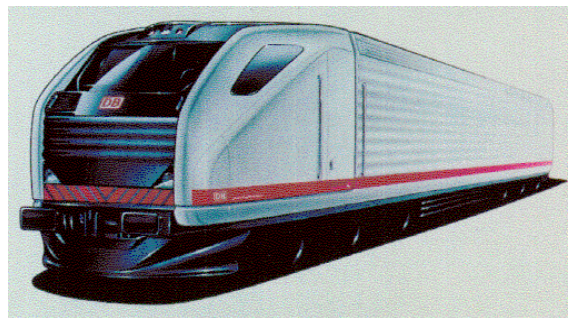


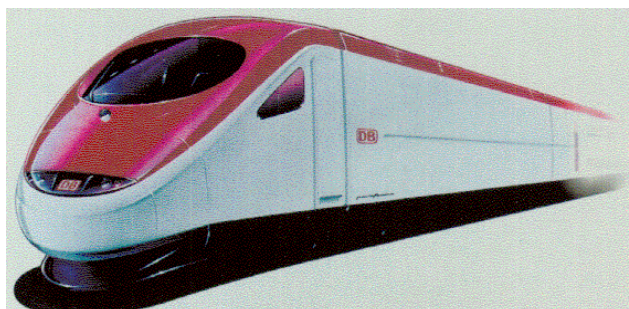
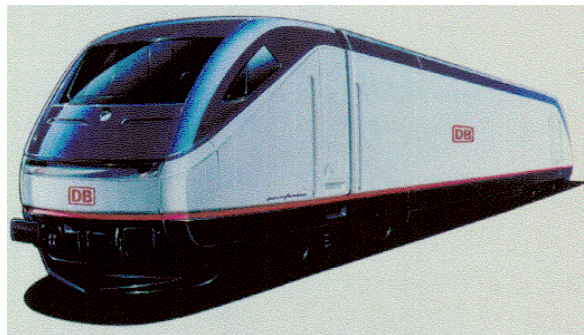
Fig. . Il carattere è dato da due o tre linee e dalla loro curvatura (Saab ????)

Interessante anche l'effetto prodotto dai treni che seguono.



La sensazione trasmessa è, in questo primo caso, di potenza e forza. Il prossimo ha, invece, un aspetto amichevole, delicato, gentile:

Il terzo ha un design aggressivo, mentre l'ultimo trasmette dinamismo:



In questo caso, è evidente come il colore (ma anche il materiale) sia importante nel raggiungimento del risultato finale. Per le automobili, valgono le seguenti relazioni (da osservazioni di Pininfarina):

- 4 *l'argento* evidenzia e ingentilisce le forme;
- il *bianco* enfatizza gli spazi vuoti tra le varie parti;
 - il *nero* attenua tali spazi e rende più aggressivo.

In generale, perché la vettura abbia un carattere deciso, si devono utilizzare linee molto tese, tendenti all'orizzontalità: i profili veloci, il cofano anteriore basso, la coda alzata, il parabrezza inclinato esprimono penetrazione, velocità. Al contrario, l'interno deve comunicare sicurezza e comfort e quindi sarà soffice, silenzioso, avvolgente. Nelle macchine, il contrasto esterno-interno rimanda ancora a quello tra maschio-femmina, concavo-convesso, analitico-organico.

Dopo aver identificato i fattori che concorrono a suscitare determinate emozioni, si vuole procedere con una classificazione relativa all'intensità della percezione emotiva. I problemi nascono dalla difficoltà di istituire i confini delle diverse classi (da considerare la componente soggettiva) e dalla presenza di altri fattori che contribuiscono, tutti insieme, a dare una certa sensazione, come ad esempio colore, posizione, accentuazione di una linea, coesistenza di più linee di carattere [7,8]. Per semplicità, il tentativo iniziale è quello di isolare l'impressione prodotta dalla singola linea.

Per quanto riguarda l'ambito più propriamente matematico, si devono determinare le proprietà geometriche che regolano gli effetti delle linee caratterizzanti l'oggetto: tra queste, sicuramente vanno considerate curvatura, concavità o convessità.

Come stadio conclusivo, si dovrà procedere con l'effettiva deformazione delle curve sulla superficie: quest'ultimo aspetto verrà affrontato nel paragrafo successivo.

5 Feature strutturali

Uno degli intenti della computer graphics è quello di permettere la manipolazione degli oggetti rappresentati nel modo più intuitivo possibile per gli utenti. Per venire incontro a questa esigenza, è nata la rappresentazione feature-based, in cui si riuniscono degli elementi geometrici che vengono considerati entità uniche. Lavorando nell'ambito del design estetico, si è particolarizzato questo concetto [4,5]: si è studiato il lavoro degli stilisti e si è notato che

essi, in un primo tempo, definiscono la forma generale e solo successivamente precisano i dettagli. Si è allora definita una distinzione tra

- **feature strutturali**: create nella fase iniziale, servono per la definizione delle superfici e delle linee (dette *linee di carattere*) che costituiscono il prodotto e quindi hanno una chiara implicazione estetica;
- **feature di dettaglio**: create in un secondo momento, si applicano alla superficie per aggiungere particolari estetici e funzionali, rinforzando l'effetto visivo già trasmesso.

Più precisamente, le feature strutturali raggruppano insieme di curve in accordo con il loro significato intrinseco: comprendono non solo linee di struttura quali profili e sezioni, ma anche linee che caratterizzano la forma dell'oggetto, le linee di carattere appunto. Ovviamente devono mantenere le relazioni con le superfici che identificano, in modo da costituire una base efficiente e veloce per successive modifiche a livello estetico.

La trattazione mediante feature permette quindi allo stilista di utilizzare entità geometriche di più alto livello rispetto ai punti di controllo e ai pesi necessari per definire le NURBS, gli strumenti matematici adottati comunemente nella rappresentazione a calcolatore. Questo vantaggio vuole essere amplificato nella modifica delle linee di carattere: mettendo in relazione l'aspetto geometrico (oggettivo) e quello emozionale (soggettivo), l'utente potrà apportare i cambiamenti facendo riferimento al secondo piano piuttosto che al primo. Due sono gli approcci che, al momento, sembrano più concreti in questo senso.

Il primo è rivolto alla costruzione di una curva target per poi utilizzare algoritmi noti in letteratura che permettono, tramite passi intermedi, di trasformare la curva di partenza in quella di arrivo. Poiché la curva target viene definita accentuando l'emozione da trasmettere, lo stilista può selezionare lo step che più rispecchia l'effetto desiderato. L'ostacolo da superare è proprio nella costruzione della curva di riferimento, in quanto risulta difficile astrarre metodologie che possano essere applicate a situazioni differenti.

Il secondo approccio parte dalle NURBS e mira alla modifica diretta della curva. L'intento è quello di produrre le variazioni richieste dallo stilista rendendo le operazioni automatiche a tal punto che l'utente possa venire a contatto essenzialmente con la geometria a lui più familiare.

Le problematiche relative a ciascuna delle due strade verrà analizzata in dettaglio successivamente.

6 NURBS

E' bene dare qualche nozione di base sulle curve NURBS e qualche applicazione già collaudata[9,10] per potere poi discutere sulle vie potenzialmente più efficaci per raggiungere l'obiettivo.

Definizione.

Una *curva NURBS* di grado p è data da

$$C(u) = \sum_{i=0}^n R_{i,p}(u) P_i, \quad 0 \leq u \leq 1$$

dove $R_{i,p} = \frac{N_{i,p}(u)w_i}{\sum_{j=0}^n N_{j,p}(u)w_j}$, $\{P_i\}$ sono i *punti di controllo*, w_i (supposti strettamente positivi)

sono i *pesi* e $N_{i,p}(u)$ sono le *funzioni B-spline di base* definite per ricorrenza da

$$N_{i,0}(u) = \begin{cases} 1 & \text{se } u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases},$$

$$N_{i,p}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+p} - u_i} N_{i,p-1}(u) + \frac{u_{i+p+1} - u}{u_{i+p+1} - u_{i+1}} N_{i+1,p-1}(u)$$

essendo $\{u_i\}_{i=0,\dots,m}$ una successione non decrescente di numeri reali detti *odi* e

$$U = \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, \underbrace{1, \dots, 1}_{p+1} \right\} \text{ il vettore dei } \textit{odi} \text{ (} m=n+p+1 \text{)}.$$

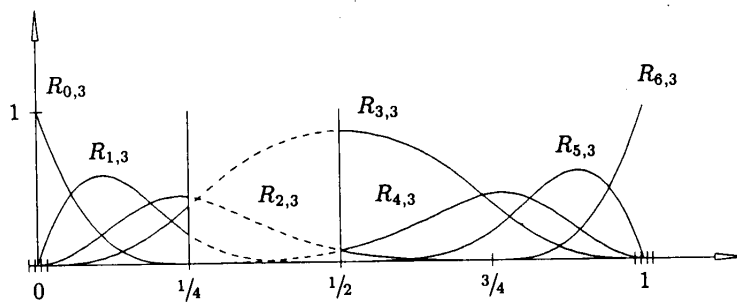
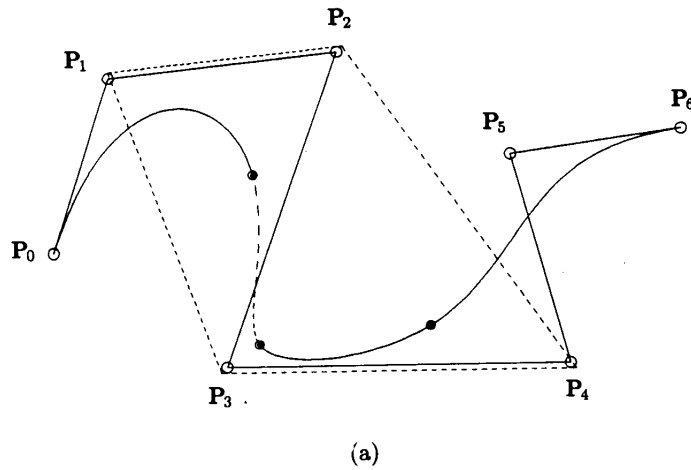


Fig. 1. (a) Esempio di curva NURBS (b) funzioni di base associate

I nodi determinano come e dove sono definite le funzioni di base. I nodi multipli fanno sì che la curva si muova verso il corrispondente punto di controllo: se la molteplicità è pari al grado della NURBS, allora la curva passa attraverso il punto di controllo; se lo supera, in generale ci potrà essere una discontinuità. Muovendo un punto di controllo, viene modificata la forma del segmento di curva vicino ad esso. Quindi si può vedere la NURBS come media pesata dell'incidenza dei suoi punti di controllo. Le funzioni di base determinano quanto i punti di controllo influenzano la curva e dove e quali sono quelli che effettivamente influiscono [11]. Più in dettaglio, le $R_{i,p}$ sono funzioni razionali a tratti su $[0,1]$ e godono delle proprietà:

1. Nonnegatività: ciò implica che attraggono la curva verso il corrispondente punto di controllo;
2. Partizione dell'unità: $\sum_{i=0}^n R_{i,p}(u) = 1$ per ogni $u \in [0,1]$;
3. $R_{0,p}(0) = R_{n,p}(1) = 1$;
4. Per $p > 0$ tutte le $R_{i,p}$ ammettono esattamente un massimo in $[0,1]$;
5. Supporto locale: $R_{i,p}(u) = 0$ per $u \notin [u_i, u_{i+p+1})$ e, in ogni intervallo di nodi, al più $p+1$ delle $R_{i,p}$ sono non nulle (in particolare, in $[u_i, u_{i+1})$ si ha $R_{i-p,p}, \dots, R_{i,p} \neq 0$);

6. Tutte le derivate esistono nell'interno di ogni intervallo dei nodi e, in un nodo, sono $p-k$ volte differenziabili con continuità, se k è la molteplicità del nodo;
7. Contengono, come caso particolare, le B-spline polinomiali (se $w_i=1 \forall i$).

Da quanto enunciato seguono importanti proprietà geometriche per le curve NURBS:

1. $C(0)=P_0$ e $C(1)=P_n$;
2. Invarianza affine: per applicare alla curva una trasformazione affine (a cui si aggiunge anche la proiezione prospettica), la si applica al suo poligono di controllo;
3. Proprietà di involucro convesso forte: se $u \in [u_i, u_{i+1})$, la curva $C(u)$ giace nell'involucro convesso dei punti di controllo P_{i-p}, \dots, P_i ;
4. $C(u)$ è infinite volte differenziabile all'interno degli intervalli dei nodi e $p-k$ volte in un nodo di molteplicità k ;
5. Proprietà di diminuzione della variazione: nessun piano (retta in 2D) ha più intersezioni con la curva di quante ne ha con il poligono di controllo;
6. Approssimazione locale: la modifica del punto P_i o del peso w_i influenza solo la porzione di curva dell'intervallo $[u_i, u_{i+p+1})$.

Quest'ultima osservazione è basilare per la rappresentazione grafica interattiva. Lavorando con le NURBS, si possono utilizzare sia il movimento dei punti di controllo sia la modifica dei pesi per ottenere il controllo locale della forma. Qualitativamente, si può dire che, se $u \in [u_i, u_{i+p+1})$ e w_i cresce (decresce), il punto $C(u)$ si sposta verso (lontano da) P_i e quindi la curva è spinta verso (lontano da) P_i e il movimento di $C(u)$, fissato u , è lungo una retta.

7 Strumenti per la modifica della forma

Tra le operazioni geometriche fondamentali relative alle NURBS, si devono citare l'inserimento, il raffinamento e la rimozione di nodi, l'elevamento e l'abbassamento di grado. L'applicazione di questi algoritmi non comporta la modifica della curva, che rimane parametricamente e geometricamente la stessa, ma solo la variazione del poligono di controllo e dei suoi vertici. Ad esempio, uno stilista può avere bisogno di avere un punto di controllo sul poligono in una zona in cui non ce ne sono: raggiunge lo scopo tramite l'inserimento di un nodo e, dopo aver effettuato le modifiche, con la rimozione riesce ad ottenere una rappresentazione più compatta della curva.

Tali algoritmi sono alla base di metodi atti alla modifica locale di una NURBS già esistente. In particolare, pensando al design estetico, si vogliono sviluppare procedure che effettuino i cambiamenti nel modo più naturale per l'utente, che preferirà lavorare con vincoli piuttosto che con pesi e punti di controllo.

Segue una descrizione qualitativa degli strumenti più comuni utilizzati per questo scopo [9].

Riposizionamento dei punti di controllo

Si riesce a spostare un punto di controllo o a muovere direttamente un punto della curva in una certa direzione e ad una distanza fissata, riposizionando un determinato punto di controllo. L'utente può specificare un vettore direzione e una distanza e poi scegliere un punto sul poligono di controllo oppure può selezionare un punto sulla curva e la posizione in cui lo vuole portare (esistono algoritmi che valutano gli altri parametri).

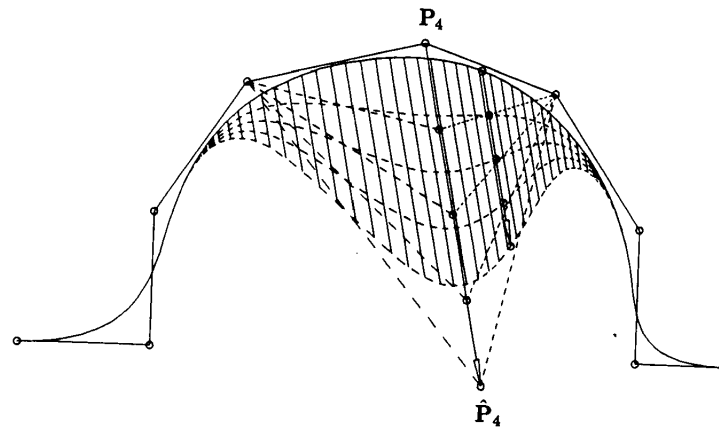


Fig.2. Curva NURBS ottenuta riposizionando P_4

Modifica dei pesi

Mentre il riposizionamento di un punto di controllo ha effetto di traslazione, la modifica di un peso ha effetto prospettico.

Il designer sceglie il punto di partenza e quello d'arrivo e il sistema calcola il peso necessario per la trasformazione. Per motivi pratici, conviene che la variazione del peso produca piccoli cambiamenti nella curva. La modifica di due pesi vicini spinge (allontana) la curva verso (da) il lato corrispondente del poligono di controllo.

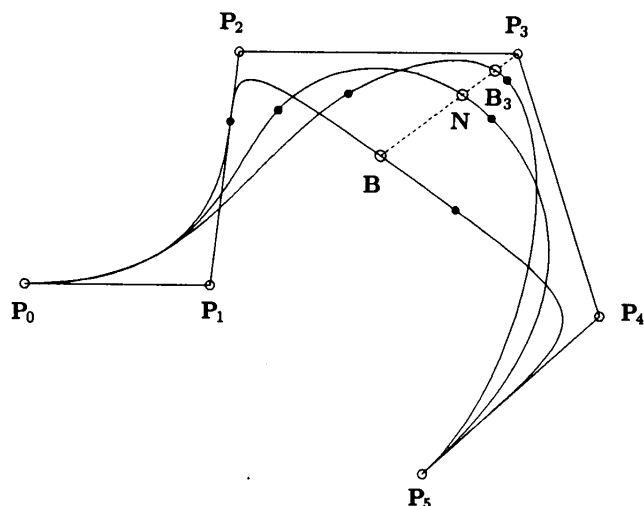


Fig.3. Modifica del peso w_3

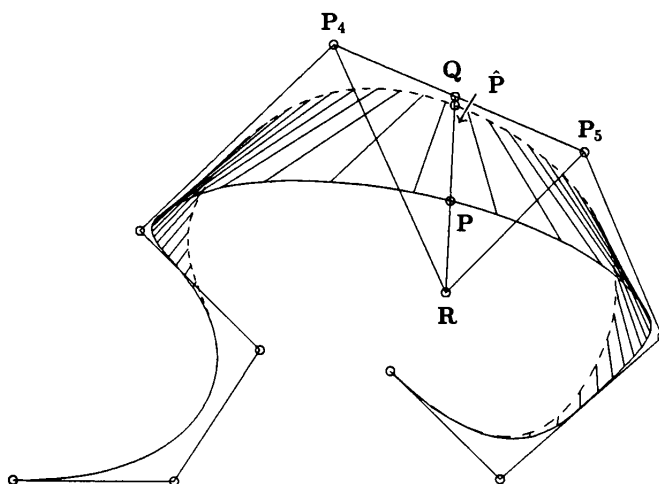


Fig.4. Modifica simultanea dei pesi w_4 e w_5 (la modifica della curva non è né in prospettiva né parallela)

Operatori di forma

Sono strumenti per modellare approssimativamente curve (e superfici) e utilizzano il raffinamento e la rimozione di nodi.

Warping

Si usa per deformare in modo anche arbitrario una porzione di curva. E' definito tramite funzioni che controllano la forma, la direzione e l'estensione della deformazione. In generale, l'utente seleziona la zona da trattare. Molto interessante è la possibilità di modifica di una curva su una superficie, trasmettendo così i cambiamenti effettuati sulla curva alla superficie su cui giace.

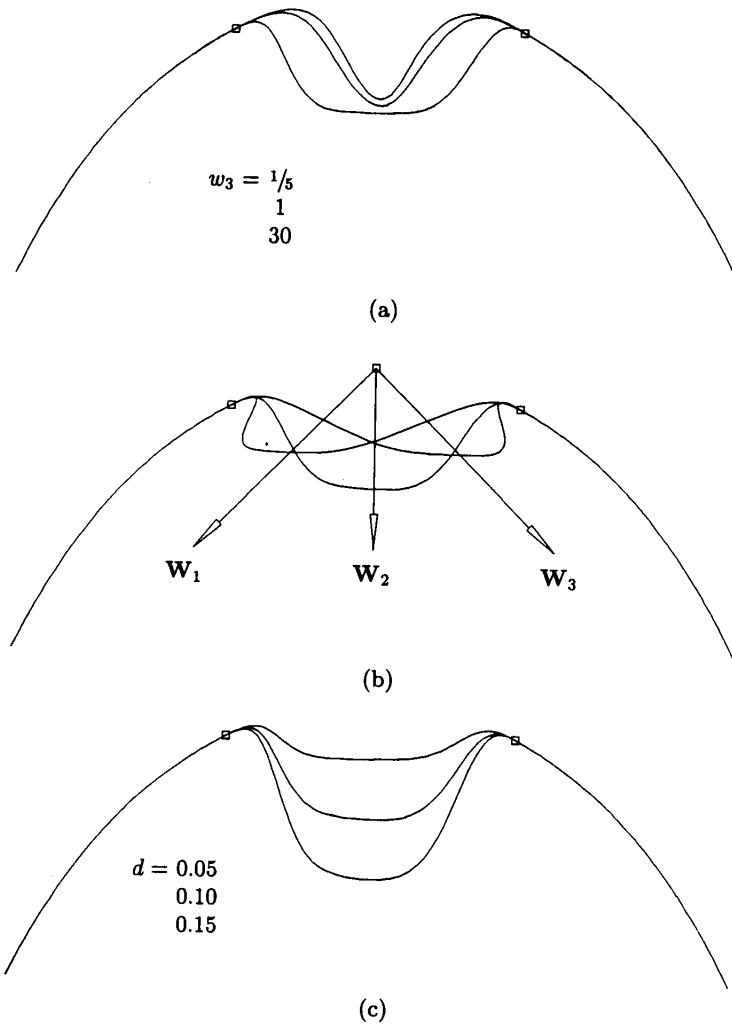


Fig.5. Warping di curve usando differenti (a) pesi, (b) direzioni, (c) distanze

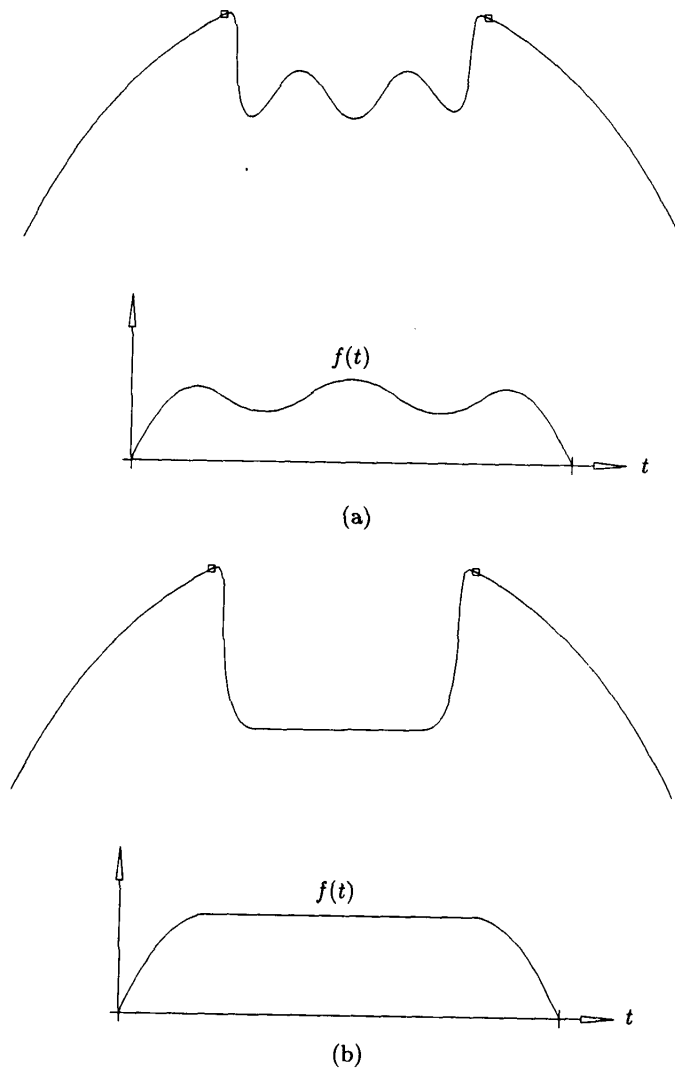


Fig.6. Warping di curve con funzioni di forma differenti

Flattening

Permette all'utente di introdurre facilmente segmenti di retta sulla curva. Si devono dare la retta, la porzione di curva da considerare e l'intervallo sulla retta in cui accettare i punti modificati.

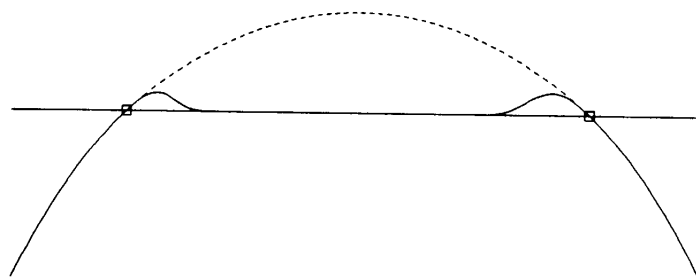


Fig.7. Flattening di una curva NURBS

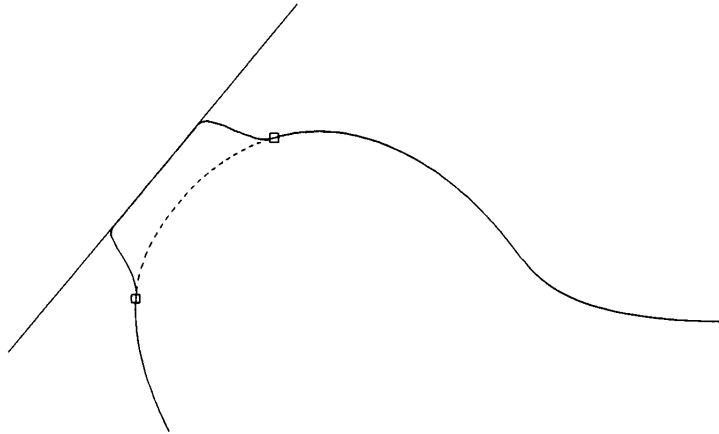


Fig.8. Flattening di una curva NURBS

Bending

Fissata l'area di lavoro, vengono definiti una curva B e un centro di bend. La curva sposta punti di controllo rilevanti verso B , mentre i punti di controllo non coinvolti possono essere traslati e ruotati per assicurare la regolarità tra la parte trasformata e quella no. Si può anche fare in modo che, nella regione, C assuma approssimativamente l'andamento di B . Cambiando la posizione del centro, cambia l'esito della modifica.

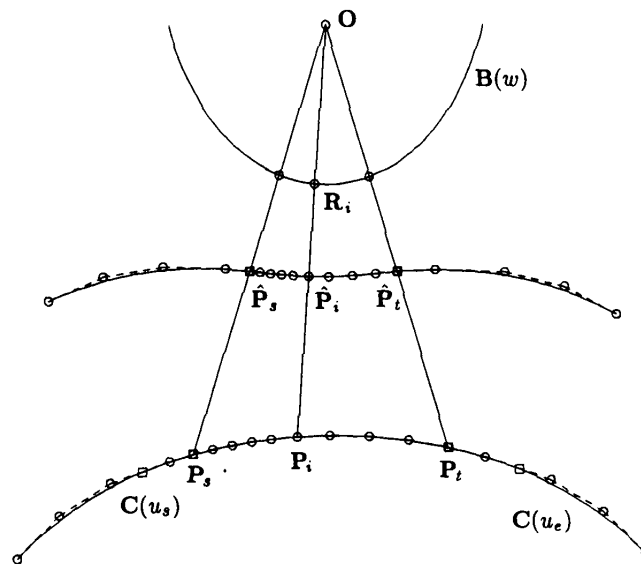


Fig.9. Bending di una curva NURBS

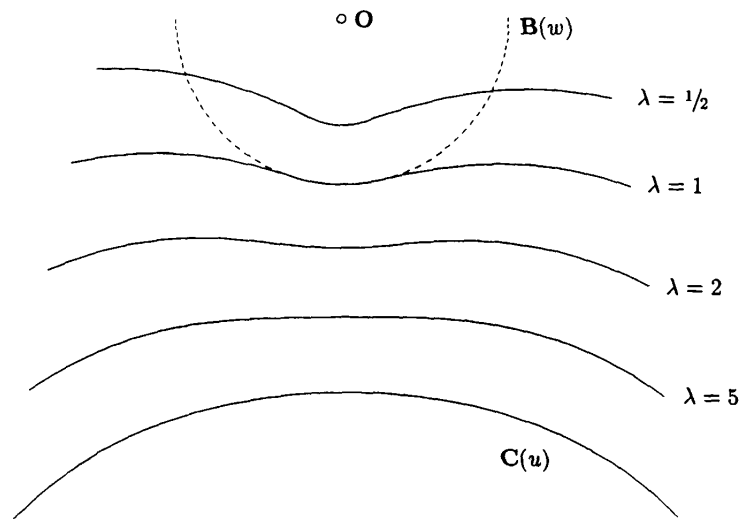


Fig. 10. Bending ottenuto scegliendo parametri λ differenti
(B è una circonferenza)

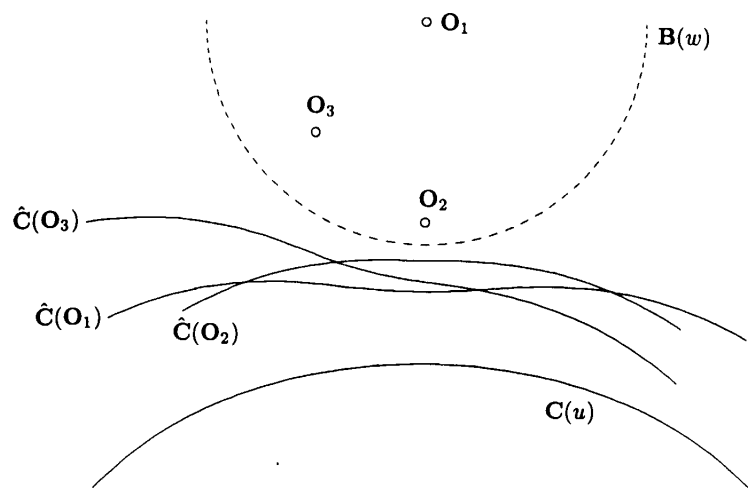


Fig.11. Bending ottenuto usando differenti posizioni del centro di bend

Modellazione di curve basata sui vincoli

Si forza la curva ad assumere certe derivate in parametri selezionati. Le derivate possono essere di qualsiasi ordine (anche zero e quindi si possono dare vincoli sui punti). Con le derivate prime e seconde, si controllano tangenti e curvatura. I vincoli sono soddisfatti riposizionando i punti di controllo in modo tale da minimizzare il movimento combinato di tutti i punti di controllo. C'è spesso flessibilità nello specificare quanti e quali punti di controllo devono cambiare e, chiaramente, ciò provoca una variazione nell'estensione e nell'aspetto della curva modificata.

8 Sviluppo della ricerca

I metodi trattati nel paragrafo precedente sono ormai noti in letteratura. Il proposito di creare un legame tra percezione emotiva e geometria solleva molti problemi: la commistione di elementi che appartengono ad ambiti diversi e la soggettività del fattore estetico rendono difficile un'astrazione univoca di parametri caratterizzanti. Gli strumenti descritti non appaiono adeguati a superare queste difficoltà e quindi, a partire da questi, se ne vogliono sviluppare degli altri più specifici.

Il problema in esame è stato presentato finora in tutta la sua complessità; è chiaro che, per trattarlo matematicamente, sarà necessario procedere ad una semplificazione.

Innanzitutto si deve precisare che si sta analizzando il caso di curve piane, per poi estendere i risultati ottenuti al tridimensionale: non si dimentichi, infatti, che le linee di carattere sono curve su superficie. D'altro canto, però, non si pensi che questa trattazione sia del tutto inutilizzabile ai fini pratici, in quanto la rappresentazione grafica di un oggetto avviene anche attraverso sezioni, profili e quindi tramite curve 2D.

Una classificazione sensata delle percezioni emotive implica un lavoro impegnativo che esula dalle competenze strettamente matematiche e che, comunque, necessita molto tempo: si dovrebbero preparare questionari appropriati e svolgere un gran numero d'interviste; in ultima analisi, si dovrebbero interpretare i risultati ottenuti con l'aiuto di psicologi, tentando una generalizzazione delle tendenze emerse. Il test proposto, di cui si è già parlato diffusamente in precedenza, è in linea con queste esigenze, ma è, ovviamente, insufficiente a fornire una trattazione completa. Di conseguenza, per il momento sostanzialmente si prescinde dalle implicazioni soggettive accogliendo gli orientamenti generali di seguito riportati:

- l'idea di dolcezza viene trasmessa tramite l'arrotondamento di linee e quindi, in ultima analisi, sarà descritta da una tensione verso il cerchio;
- il carattere aggressivo si otterrà enfatizzando le curve e, in particolare, gli angoli del poligono di controllo o la curvatura in punti chiave;
- la freddezza si esplicherà mediante un raddrizzamento di linee.

A questo punto, l'obiettivo fondamentale diventa la **trasformazione di una curva in un'altra**.

Un altro aspetto da esaminare è l'**entità della modifica** e qui entra in gioco un discorso di proporzioni. La stessa variazione di curvatura produrrà un risultato diverso a seconda dell'ampiezza dell'area considerata rispetto all'intero oggetto. In quest'ottica, la

circonferenza o l'angolo più acuto vanno visti appunto come limite superiore alla modifica che, in generale, non verrà raggiunto. Tramite step intermedi, l'utente sceglierà il grado di avvicinamento al limite che più rispecchia i suoi intenti. Ad ogni modo, sembra ragionevole pensare che il range di modifica non sia molto ampio: è più probabile che lo stilista necessiti di aggiustamenti locali piuttosto che di uno stravolgimento completo dell'idea primitiva.

Un punto cruciale che non è ancora stato affrontato è la **compresenza di più curve**, situazione più frequente nella pratica. Accade spesso, infatti, che la modifica da ottenere sia relativa ad una porzione dell'oggetto modellata tramite l'utilizzo di più linee. Si presenta anche la situazione in cui la modifica di una curva comporta la variazione di altre ad essa legate, per motivi di coerenza del modello o perché vengano mantenuti certi vincoli di curvatura o di tangenza. Alzando il tetto di un'automobile, è necessario che comunque sia garantita la discesa dei cristalli laterali (esempio tratto da indicazioni di Pininfarina) e quindi i cambiamenti coinvolgeranno anche tali parti della vettura. In entrambi i casi, si nota come sia fondamentale una determinazione precisa delle relazioni che intercorrono tra le curve in esame, in quanto la modifica di una curva complessa spesso non è ottenuta tramite la singola modifica delle curve componenti, così come, a livello percettivo, l'effetto globale che un oggetto suscita non è dato dalla somma degli effetti degli elementi che lo compongono. Allora una definizione formale di "curva semplice" risulta poco utile se non si individuano anche le relazioni che possono intercorrere tra questi elementi di base.

Relativamente alla prima occorrenza, si possono citare due articoli che affrontano questa tematica. In [12], si introducono delle suddivisioni gerarchicamente controllate (a partire dal raffinamento della curva o superficie) in modo tale che la modifica locale si estenda coerentemente alle zone circostanti; questo può avvenire in quanto i punti di controllo per i dettagli successivi vengono definiti in base a quelli dei dettagli precedenti. In [13], si sottolinea l'esigenza di mantenere relazioni d'incidenza fra le singole spline proprio perché, in un disegno, le curve possono dipendere le une dalle altre: deve essere possibile identificare le dipendenze topologiche e strutturare le spline in modo gerarchico in modo da propagare la modifica solo dove serve. Allo scopo, si introducono le sticky spline, definite a partire dalla nozione di deformazioni free-form; a detta degli stessi autori, però, devono ancora essere perfezionate e quindi l'implementazione non risulta efficiente.

Tornando al presente lavoro, finora ci si è, invece, occupati di curve singole, sempre per cercare di risolvere le difficoltà a partire dai casi elementari. Sembra sensata una definizione di *curva semplice* come una curva limitata priva di flessi; infatti, ci si è resi conto

che i cambi di concavità-convessità sono punti critici nella modifica. L'analisi successiva verterà principalmente su questo tipo di curve.

8.1 Curva target

Come si è anticipato nei paragrafi precedenti, la prima strada che si è percorsa è quella della creazione di una curva target che accentui l'emozione da trasmettere. Per cominciare, si è provato a vincolare gli estremi e ci si è focalizzati sull'addolcimento: almeno apparentemente, non sembra si riscontrino problemi di natura diversa se si tratta il problema di rendere aggressivo o 'duro' un oggetto.

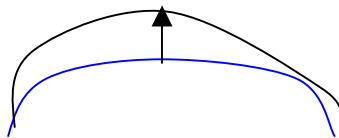
In letteratura, la questione della modifica di una curva ai fini di sovrapporla ad una altra non è posta negli stessi termini. Nel **morphing**, la maggior parte dei metodi basano tale trasformazione sullo spostamento dei **pixel**. Anche qui, ci sono diverse tecniche: si interpola il colore di ogni pixel dalla prima immagine alla seconda oppure si stabilisce una corrispondenza tra i pixel delle due immagini. Le tecniche che, invece, lavorano sulla **geometria**, partono da una curva, la modificano in qualche modo e poi ricostruiscono gli step intermedi tramite una corrispondenza uno-a-uno tra i punti che è facile da identificare. Il problema fondamentale è costituito dal fatto che le forme intermedie possono risultare prive di senso in quanto le curve che le compongono si intersecano in modo non desiderato.

In [14], si tratta l'immagine 2D come wire e si trasforma una shape in un'altra calcolando il lavoro minimo per effettuare questa trasformazione. L'algoritmo viene applicato ai poligoni e permette di evitare, nel processo di morphing, le intersezioni a cui si è accennato precedentemente. In [15], si determina una corrispondenza omeomorfica tra poliedri di genere zero (senza buchi), riportandosi all'omeomorfismo che sussiste tra ogni poliedro di questo tipo e la sfera. Qui il discorso è rivolto ad una specie particolare di solidi; in realtà, non è immediato, partendo da due superfici arbitrarie, determinare (sempre che esista) una funzione che leghi i punti dell'una con quelli dell'altra e il discorso non è semplice neanche se è rivolto alle curve piane. [16] propone un metodo feature-based che stabilisce una corrispondenza tra le caratteristiche simili di due oggetti. Le possibili feature sono estratte osservando le proprietà locali (tangente, curvatura) e viene introdotto un insieme di misure di similarità che quantificano la similitudine tra le feature precedentemente identificate.

Molti degli articoli letti sono orientati già allo spazio tridimensionale e quindi non è stato possibile utilizzarne direttamente le idee contenute. Quindi l'analisi che segue è stata sviluppata sostanzialmente in modo originale.

Trattando una curva semplice, si potrebbero fissare un punto rilevante e una direzione di modifica che sono parametri abbastanza intuitivi con cui lavorare. Come si è visto, il carattere aggressivo è determinato da spigoli vivi: in questo caso, è automatico concentrare la modifica in tali punti. Allora si è pensato di trattare l'addolcimento come caso particolare del precedente, lavorando così con le stesse entità. Si è ritenuto di scegliere, come punto privilegiato, un punto di massima curvatura, ma non sempre questo è determinante ai fini della modifica. Si consideri, ad esempio, il caso di curve simmetriche in cui ci siano più punti di questo tipo: la scelta di uno potrebbe pregiudicare la simmetria. Può anche accadere che, dopo la modifica, il punto di massima curvatura scelto non mantenga tale caratteristica e quindi risulta poco utile agire su quello.

Se la curva è simmetrica e si vuole conservare questa proprietà, sembra sufficiente, nel caso di addolcimento, tendere alla circonferenza in direzione della normale nel (nei) punto (i) di massimo:



L'unico problema che può sorgere è relativo all'eventuale mantenimento di condizioni di tangenza negli estremi, ma non si dimentichi che la curva finale non coincide con quella target, oggetto, invece, dell'analisi corrente.

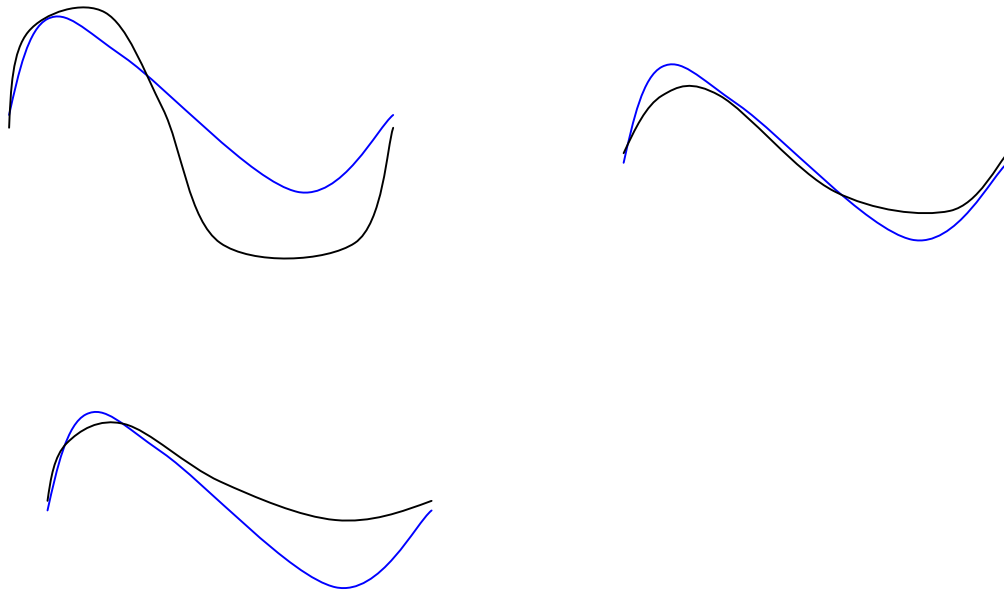
Se si vuole eliminare la simmetria, diventa essenziale che l'utente specifichi un punto chiave e una direzione di modifica perché le possibilità di arrotondamento sono più d'una. Ad esempio,



Partendo da una curva non simmetrica, la situazione si complica. Nel caso in cui l'andamento debba rimanere lo stesso, il problema si riesce a risolvere più facilmente, a meno di imporre condizioni di regolarità negli estremi. Se, invece, si vuole cambiare, non è facile fissare univocamente come e dove effettuare le modifiche, in quanto un effetto analogo, in termini di sensazione globale, si può ottenere con variazioni di tipo diverso. Ne segue un

aumento dei gradi di libertà della deformazione, circostanza che si amplifica quando non è vincolante mantenere gli estremi fissati (e ciò vale anche nel caso di curva simmetrica).

La presenza di flessi nella curva iniziale rende possibile anche una variazione di convessità, oltre che di curvatura; addolcire una curva con flesso non necessariamente implica arrotondare le singole parti, anzi potrebbe voler dire attenuare la distanza tra massimi e minimi utilizzando trasformazioni di cui il flesso potrebbe non essere punto fisso:



In nuce sono già presenti le problematiche che emergono nel caso di compresenza di più linee ed è per questo motivo che le curve con flessi sono state considerate come curve ‘composite’.

Appare evidente, in questo contesto, che si debbano richiedere altri parametri, ma non si è riusciti ad identificare degli elementi che esaurissero le diverse situazioni. E’ in questo senso il tentativo di costruire curve target come raccordo regolare di più curve (tenendo conto dei punti privilegiati e delle direzioni di modifica), ma anche qui non è stata individuata una metodologia sufficientemente generale. Forse risultati migliori si otterrebbero limitandosi a classi di prodotti ben precise. Ad esempio, restringendo lo studio agli elettrodomestici piuttosto che alle automobili è più semplice circoscrivere le occorrenze e quindi creare metodi ad hoc per ognuna delle categorie.

Si deve, infine, sottolineare che la difficoltà fondamentale in questo approccio è proprio la creazione della curva target; una volta determinata questa, costruendo, ad esempio, la superficie rigata che contiene curva iniziale e curva finale, le isoparametriche in una direzione daranno proprio le curve intermedie tra cui scegliere quella più adatta alle esigenze

dell'utente. Da non trascurare, comunque, il problema ulteriore del mantenimento delle condizioni di regolarità richieste (continuità semplice, di tangenza o di curvatura) nei punti di raccordo tra le isoparametriche e le curve adiacenti. Per la definizione data di NURBS, è, infatti, garantita la continuità semplice, ma non quella C^1 ; l'imposizione di vincoli sulle derivate prime influisce sicuramente sull'andamento della curva. Si deve quindi studiare questo rapporto in modo che la curva ottenuta sia effettivamente quella desiderata.

8.2 Poligono di controllo

Un approccio alternativo al morphing è quello di operare direttamente sul **poligono di controllo** della curva da addolcire.

La via più seguita è quella di estendere la nozione di NURBS rendendola più completa. Ad esempio, in [], vengono introdotte le D-NURBS, che costituiscono una generalizzazione physics-based volta al design geometrico. Il comportamento del modello deformabile è governato da leggi fisiche: questa metodologia è considerata più intuitiva in quanto è più naturale applicare forze piuttosto che spostare punti di controllo o modificare pesi.

[] definisce le Alpha-Spline che non sono altro che NURBS con l'aggiunta del parametro di tensione. Sicuramente permettono un controllo più preciso della forma, ma l'aumento dei parametri contribuisce a rendere meno prevedibile l'esito della modifica.

E' interessante [] che utilizza, nell'operazione di deformazione, una trasformazione prospettica di origine arbitraria. I punti di controllo della NURBS vengono spostati in direzione radiale e la scelta del centro di prospettiva induce modifiche intuitive della forma.

Infine, vale la pena citare [] che presenta le curve wire. Permettono la modifica di linee caratterizzanti l'oggetto in una fissata zona d'influenza e provocano la deformazione della superficie sottostante tali curve. Vi è, inoltre, il vantaggio, di poter lavorare con wire multiple che permettono di gestire la compresenza di più curve.

In questi mesi, si è svolta una ricerca per formalizzare le relazioni tra poligono di controllo e curvatura della linea in esame. Si è pensato di modificare gli angoli e i lati del poligono associando ad un determinato range di curvatura un certo intervallo in cui gli angoli possono variare per preservare nell'osservatore la sensazione relativa a quella misura di curvatura. Si è notato, in realtà, che la modifica di questi elementi geometrici implica sostanzialmente uno spostamento dei punti di controllo e quindi conveniva ricondursi a questo problema.

Lavorare con gli angoli è magari più intuitivo, ma, alla fine, risulta più complesso. Si pensi già alla modifica di un poligono qualsiasi; la variazione di un angolo comporta la ridefinizione di tutto il poligono: se si vuole che la misura dei lati rimanga fissata, cambieranno gli altri angoli e la posizione dei vertici; se si vogliono mantenere i vertici, saranno modificati angoli e lati. In ogni caso, il poligono potrebbe cambiare radicalmente la sua configurazione.

Si è deciso, dunque, di concentrare l'attenzione sui punti di controllo e, in particolare, si è approfondita l'analisi del comportamento dell'algorithmo di warping introdotto brevemente in precedenza e che di seguito verrà descritto in dettaglio [9].

Sia $[u_s, u_e]$ l'intervallo di nodi in cui si vuole effettuare la modifica. Dopo un eventuale inserimento di nodi (con conseguente aumento di punti di controllo), si definiscono i nuovi punti di controllo secondo la formula

$$P_i' = P_i + f d \mathbf{W}, \quad i = s, \dots, e-p-1 \quad (1)$$

dove f è una funzione, d una costante e \mathbf{W} un vettore che può essere sia costante sia variabile (p rappresenta sempre il grado della NURBS). Per maggiore chiarezza, si specifica che f controlla la forma della deformazione, d è un limite superiore allo spostamento dei punti di controllo e \mathbf{W} indica la direzione in cui effettuare la modifica.

Data la linearità della (1), è ovvio che la forma assunta dalla deformazione ricalcherà da vicino l'andamento della f che, quindi, potrà essere selezionata in accordo con la modifica che si vuole effettuare. Una scelta ragionevole della direzione \mathbf{W} è data da quella normale alla curva. Se la si vuole costante, si può porre

$$\mathbf{W} = \pm \mathbf{N}(1/2(u_s + u_e)).$$

Altrimenti, si introduce la distanza δ che intercorre tra i punti P_s e P_{e-p} valutata lungo il perimetro del poligono di controllo; sia t_i , per $i = s, \dots, e-p-1$, la stessa distanza valutata tra P_s e P_i , normalizzata da δ . Si nota che $0 \leq t_i \leq 1$, per $s \leq i \leq e-p-1$. Allora la formula (1) per il riposizionamento dei punti di controllo diventa

$$P_i' = P_i + f(t_i) d \mathbf{W}(t_i), \quad i = s, \dots, e-p-1, \quad (2)$$

in cui $\mathbf{W}(t_i) = \pm \mathbf{N}(t_i)$.

Si è voluto verificare direttamente che l'algorithmo fosse appropriato per le proprie necessità; in tal modo, scegliendo la f opportunamente, si sarebbe potuto controllare la modifica della curva in modo intuitivo. E' stato usato il modellatore ACIS (versione 4.0, Spatial Technology, riferimento URL: <http://www.spatial.com>) e scritto un codice in C++ per implementare@ tali relazioni. I risultati sono stati deludenti: l'andamento di f non è rispettato

nella deformazione e non si riesce a dosare la consistenza della modifica, se non procedendo per tentativi; inoltre, la regolarità delle spline create (anche quelle di input) è bassa (C^0) e quindi i risultati appaiono, per il momento, inutilizzabili ai fini di un'applicazione pratica. Si pensa che il problema sia solo di visualizzazione in quanto l'interfaccia di ACIS è piuttosto elementare e non permette interazione con l'utente. Per questo motivo, si stanno valutando i margini di miglioramento che si possono ottenere utilizzando il modellatore in modo da poterlo usare almeno come strumento di verifica delle congetture elaborate.

9 Bibliografia

- [1] D. Vannoni, *Far parlare gli oggetti*, Stileindustria, Domus ed., n. 9, Marzo 1997.
- [2] G. Fonio, *I codici*, Ripensare il design.
- [3] L. Bonapace, L. Bandini Buti, *L'oggetto gradevole*, Ergonomia, Moretti e Vitali ed., n. 10, Settembre 1997.
- [4] A. Van Onck, *Design, il senso delle forme dei prodotti*, Lupetti –Editori di Comunicazione, 1994.
- [5] J. Lansdown, *Design in Computer Graphics*, Tutorial, Eurographics, Maastricht- The Netherlands, 1995.
- [6] M. Fontana, F. Giannini, M. Meirana, *A Free Form Feature Taxonomy*, EUROGRAPHICS '99, Guest Ed., Vol. 18 (1999), n. 3.
- [7] M. Mata-Dumenjo, P. Brunet, *Dictionary of terms*, FIORES Brite-Euram Project, Task 1, Responsible: CIMNE-IRI.
- [8] M. Ferrino, *Introduzione all'analisi delle qualità formali degli oggetti in relazione ai linguaggi della modellazione computerizzata finalizzata al design estetico*, Relazione sui seminari tenuti presso l'Istituto per la Matematica Applicata, CNR di Genova relativamente al Progetto FIORES Brite Euram Project.
- [9] W. Kandinsky, *Punto, linea, superficie*, Adelphi ed..
- [10] W. Wong, *Principles of Two-Dimensional Design*, Van Nostrand Reinhold ed., 1972.
- [11] L. Piegl, W. Tiller, *The NURBS Book*, 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [12] G. Farin, *Curves and surfaces for computer aided design-A practical guide*, London, Academic Press, Inc., 1993.

- [13] D.R. Forsey, R.H. Bartels, *Hierarchical B-Spline Refinement*, Proceeding of SIGGRAPH 88, ACM Comput. Graph., 22, 4 (Aug.), pp 205-212.
- [14] C.W.A.M. Van Overveld, M.L. Viaud, *Sticky Splines; Definition and Manipulation of Spline Structures with Maintained Topological Relations*, ACM Transactions on Graphics, Vol. 15, No. 1, January 1996, pp. 72-98.
- [15] T.W. Sederberg, E. Greenwood, *A physically-based approach to 2-D shape blending*, ACM Computer Graphics, 1992, 26 (2), pp. 25-34.
- [16] J.R. Kent, W.E. Carlson, R.E. Parent, *Shape Transformation for Polyedral Objects*, ACM Computer Graphics, 1992, 26 (2), pp. 47-54.
- [17] K.C. Hui, Y. Li, *A feature-based shape blending technique for industrial design*, Computer-aided design, Vol. 30, No. 10, 1998, pp. 823-834.
- [18] H. Qin, *Physics based geometric design*, International Journal of Shape Modeling, Vol. 2, No.2&3 (1996), pp. 139-188.
- [19] C. Tai, *Alpha-spline: A C^2 Continuous Spline with Weights and Tension Control*, Proceedings of Shape Modeling and Applications , Aizu-Wakamatsu, Japan, March 1-4, 1999.
- [20] J. Sanchez-Reyes, *A Simple Technique for NURBS ShapeModification*, IEEE Computer Graphics and Applications, January-February 1997, pp. 52-59.
- [21] K. Singh, E. Fiume, *Wires: A Geometric Deformation Technique*, Proceedings of SIGGRAPH, 1998, pp. 405-414.