

CAD TECHNIQUES FOR AESTHETIC PRODUCT DESIGN

TECNICHE CAD PER LA PROGETTAZIONE ESTETICA

T. De Martino, M. Meirana

Istituto per la Matematica Applicata

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Via De Marini 6 - 16149 Genova

tel.: +39 10 6475662

fax: +39 10 6475660

E-mail: demartino (meirana)@ima.ge.cnr.it

Abstract

In a very competitive world wide market, styling is a key factor for the success o a product. While the use of computer aided technologies (CAx) in the area of mechanical product design is quite well established, the gap in the computer aided process chain in the styling phase of the product definition is a severe problem: styling of complex-shaped products (like car hoods, consumer appliances, toys, etc...) is still a domain of hand drawing and model building. The main reason is that the CAD systems handling does not fit the way the stylists work and is not intuitive at all. These systems need expert users with knowledge of the mathematical representations of curves and complex surfaces, usually in terms of B-spline or NURBS, which are defined and manipulated by means of too low level geometric entities.

In this paper we propose a modelling approach based on the concept of *shape feature* used as high level modelling entity for aesthetic design. The aim of this work is to provide the user with an intuitive aesthetic feature definition, in terms of parameters easy to define and to manipulate. A prototype system which allows to characterise in different ways a given surface has been developed and will be here described.

The work has been partly performed within the European Project, Brite-EuRam BRPR-CT96-0237, named "FIORES: Formalisation and Integration of an Optimised Reverse Engineering Styling Workflow".

1. Introduzione

Durante la progettazione di un prodotto è necessario porre attenzione non solo all'aspetto funzionale ma anche alla definizione estetica della forma. Infatti solitamente un prodotto viene scelto oltre che per la sua utilità anche in base ad altre caratteristiche quali ad esempio la forma, le dimensioni, l'aspetto estetico, il colore.

Le caratteristiche estetiche sono spesso un elemento fondamentale per distinguere, in modo determinante, un prodotto da un altro dello stesso tipo e per contribuire alla sua affermazione commerciale.

Nella vita di tutti i giorni siamo circondati da oggetti simili le cui forme differiscono solo per alcuni particolari; a partire da una stessa forma base si possono infatti considerare diverse caratterizzazioni che permettono di ottenere diverse versioni dello stesso prodotto.

La progettazione di prodotti e in particolare quella di prodotti costituiti da superfici complesse viene attualmente eseguita utilizzando sistemi CAD che rappresentano curve e superfici sotto forma di B-spline razionali non uniformi (NURBS).

La definizione delle superfici avviene specificando direttamente i parametri necessari per definire matematicamente una superficie NURBS e cioè entità di basso livello come punti di controllo, nodi e pesi.

Questi sistemi pongono però limitazioni quando vengono utilizzati per le attività relative alla progettazione estetica (styling) in quanto non possiedono funzionalità di alto livello che tengano conto delle caratteristiche estetiche di un prodotto.

Le operazioni da eseguire risultano infatti poco intuitive e richiedono l'intervento di progettisti specializzati aventi familiarità con il linguaggio matematico e in grado di manipolare le entità di basso livello.

Inoltre non esistono funzionalità per facilitare la modellazione di varianti di uno stesso prodotto. Cambiare un dettaglio estetico comporta spesso la riprogettazione dell'intera superficie interessata da quel dettaglio, con evidente spreco di tempo e aumento dei costi di progettazione.

Allo scopo di migliorare le funzionalità degli esistenti sistemi CAD, ai fini della progettazione estetica, in questo lavoro sono state individuate alcune caratteristiche di forma ricorrentemente utilizzate per esprimere particolari estetici e si è affrontato il problema di definire metodi di modellazione di tali caratteristiche in grado di evitare la manipolazione diretta di entità di basso livello. I concetti esaminati sono stati applicati per la realizzazione di un operatore di alto livello che permette di ottenere diverse varianti estetiche di uno stesso prodotto.

Questo articolo è stato organizzato nel modo seguente: nel paragrafo 2 vengono discusse le limitazioni riscontrate, ai fini della progettazione estetica, nei sistemi CAD attualmente in uso.

Successivamente, nel paragrafo 3, vengono definite e classificate le caratteristiche di forma ricorrentemente utilizzate nella progettazione estetica.

Il paragrafo 4 descrive il macro operatore *Make_character_line* () implementato sfruttando le funzionalità del modellatore geometrico solido ACIS [Acis96], che permette di caratterizzare esteticamente una superficie attraverso la sola specifica di alcuni parametri geometrici.

Le conclusioni terminano il lavoro.

2. I sistemi CAD per la progettazione di superfici

I sistemi CAD che rappresentano curve e superfici sotto forma di NURBS vengono utilizzati efficientemente per la progettazione di superfici in quanto permettono di rappresentare sia forme analitiche, come le sezioni coniche e le superfici quadriche, che superfici free form come il corpo di un automobile o lo scafo di una nave.

Le NURBS sono infatti curve o superfici che approssimano l'andamento di una spezzata o di una griglia definita da un insieme di punti, detti *punti di controllo*.

In particolare una superficie NURBS di grado p nella direzione u e di grado q nella direzione v è una funzione vettoriale razionale bivariata della forma

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j} P_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) w_{i,j}} \quad 0 \leq u, v \leq 1$$

dove i $\{P_{i,j}\}$ sono i punti di controllo che formano la rete di controllo bidirezionale, gli $\{w_{i,j}\}$ sono i pesi assegnati ad ogni punto di controllo e le $\{N_{i,p}(u)\}$ con le $\{N_{j,q}(v)\}$ sono le funzioni B-spline non razionali di base definite rispettivamente sui vettori dei nodi:

$$U = \frac{0}{p+1} \frac{K}{2} \frac{3}{3} \frac{0, u_{p+1}}{K} \frac{K}{2} \frac{u_{r-p-1}}{1} \frac{K}{2} \frac{1}{3} \frac{1}{p+1} \quad e \quad V = \frac{0}{q+1} \frac{K}{2} \frac{3}{3} \frac{0, v_{q+1}}{K} \frac{K}{2} \frac{v_{s-q-1}}{1} \frac{K}{2} \frac{1}{3} \frac{1}{q+1} ?$$

dove

$$r = n + p + 1 \quad ed \quad s = m + q + 1.$$

La potenza delle NURBS é dovuta alle importanti proprietà di cui godono e cioè [PiTi96]: *invarianza affine* (una trasformazione affine viene applicata ad una NURBS applicandola solamente ai suoi punti di controllo), *proprietà di guscio convesso forte* (le NURBS sono contenute nel guscio convesso del loro poligono di controllo), *proprietà di diminuzione delle oscillazioni* (valida solo per le curve e per cui data una curva NURBS non esistono rette che la intersecano più volte che il suo poligono di controllo), *approssimazione locale* (se si muove un punto di controllo o se si cambia un peso di una NURBS essa viene modificata solo in un determinato intervallo (Fig. 1)).

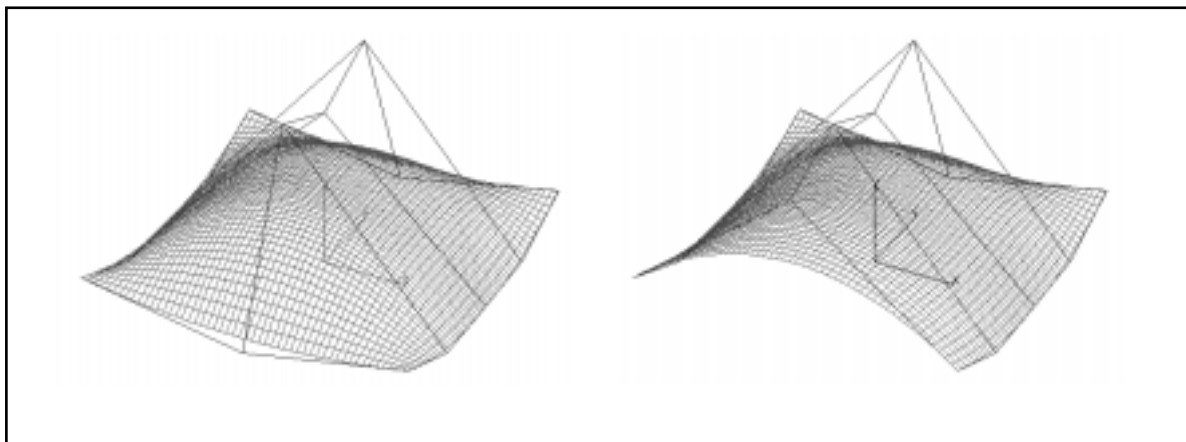


Fig. 1: Superfici che differiscono solo per la posizione di un punto di controllo

Nell'industria le NURBS sono di fatto diventate uno standard per la rappresentazione, la progettazione e lo scambio di informazioni geometriche processate tramite calcolatore e molti

standard nazionali e internazionali, come ad esempio STEP (Standard for Exchange of Product Data) [Owen93], riconoscono le NURBS come potenti strumenti per la progettazione geometrica.

I sistemi CAD che utilizzano le NURBS, permettendo la rappresentazione di curve e superfici complesse, pur essendo un valido strumento per la progettazione di superfici, non hanno però funzionalità di modellazione adatte per la progettazione estetica in quanto la definizione e in particolare la modifica di una NURBS richiedono approfondite conoscenze matematiche e quindi possono essere manipolate solo da progettisti esperti.

3. Aspetti estetici nella progettazione di prodotti

I sistemi CAD, utilizzati per la progettazione estetica, si sono rivelati poco adatti all'attività degli stilisti in quanto basati su un linguaggio strettamente matematico e pertanto lontano dal loro modo di pensare.

Gli stilisti in particolare sono restii all'uso del calcolatore nella fase creativa e intuitiva di definizione iniziale della forma a causa delle restrizioni imposte dagli attuali strumenti di modellazione che limitano la loro libertà espressiva [KrLu95].

A causa di queste difficoltà la fase di styling avviene ancora, nella parte iniziale di progettazione, secondo schemi tradizionali mediante schizzi su carta.

Gli schizzi su carta sono infatti un linguaggio di comunicazione naturale capace di trasmettere velocemente informazioni qualitative senza limitare la creatività dello stilista e senza sconvolgerne il flusso di idee [LiSh96].

Tali schizzi infatti rappresentano visivamente il risultato che si vuole ottenere mettendo in evidenza gli aspetti estetici.

In questa fase iniziale di definizione della forma gli strumenti utilizzati da uno stilista per imprimere l'effetto estetico sono linee più o meno marcate, giochi di colori e di luci ed ombre che permettono di esprimere il "carattere" del prodotto.

Solo in un momento successivo questi schizzi vengono tradotti da progettisti, esperti di sistemi CAD, in termini di superfici NURBS.

La creazione del modello CAD avviene in più fasi. Una volta creato il modello iniziale, per definirne il desiderato aspetto estetico, vengono modellate successivamente delle caratteristiche di forma, come scanalature, nervature, gradini, fori, ecc..

Attualmente la modellazione dei dettagli estetici e funzionali avviene con operazioni di basso livello, ovvero modificando la posizione dei punti di controllo in modo laborioso e difficile. Un approccio più intuitivo dovrebbe permettere all'utente di manipolare la superficie in termini di un suo proprio linguaggio [EIDi94].

In questo articolo viene proposta una soluzione a questo problema basata sulla definizione di operatori di alto livello che permettono di specificare le caratteristiche di forma da applicare ad una data superficie, in termini di parametri vicini al modo di pensare del progettista.

3.1 Linee di carattere

Nonostante la varietà di forma delle superfici free form, è possibile individuare particolari caratteristiche geometriche che si presentano in modo ricorrente in molteplici tipi di prodotti.

Esaminando alcuni schizzi di progetti è emerso che gli stilisti utilizzano alcune curve, tecnicamente dette *linee di carattere*, che hanno la proprietà di caratterizzare un oggetto in quanto ne esprimono "il carattere" differenziandolo da oggetti simili.

Le linee di carattere vengono considerate importanti elementi per lo styling e la progettazione in quanto usate per esprimere effetti estetici quali, ad esempio, aggressività e morbidezza o anche per definire un aspetto familiare comune ad un insieme di prodotti come un marchio del disegnatore o dell'azienda di produzione.

La relazione tra linee di carattere e forma comunque non è semplice infatti oggetti con diversa forma possono avere le stesse linee di carattere mentre oggetti aventi stessa forma possono avere diverse linee di carattere [Fior97].

Per modellare le linee di carattere su una data superficie vengono manipolati i punti di controllo della superficie ma apportare tali modifiche risulta spesso un lavoro difficile, lento e ripetitivo, che può essere reso più efficiente tramite operazioni di più alto livello in grado di produrre il risultato desiderato in modo immediato.

Esaminando la forma che può assumere una superficie in presenza di una linea di carattere si è osservato che essa può (Fig. 2):

- rappresentare una sporgenza o una rientranza;
- essere più o meno incisiva e cioè più o meno evidente sulla superficie;
- presentare simmetria o asimmetria di forma;
- essere rappresentata da una curva aperta o chiusa;
- influenzare la forma della superficie in modo più o meno locale.

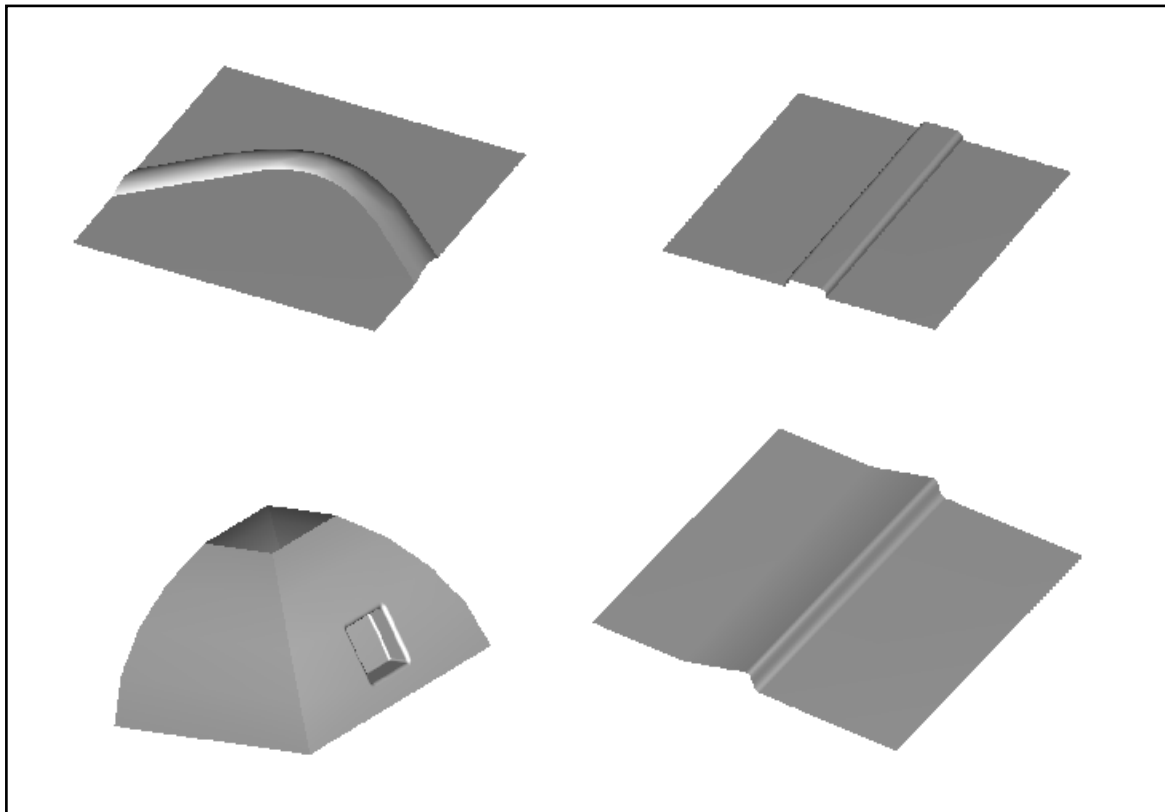


Fig. 2: Esempi di caratterizzazioni di superfici

A partire da queste osservazioni è stato possibile identificare un insieme di parametri geometrici ritenuti fondamentali per poter specificare una linea di carattere:

- **I** : *curva piana* che rappresenta l'andamento della linea di carattere in uno dei punti di vista principali (frontale, laterale, dall'alto);
- **α** : vettore *profondità* che indica quanto la linea di carattere incide sulla superficie e in che direzione (la direzione stabilisce se si ha una sporgenza o una rientranza);
- **$(\beta_1 + \beta_2)$** : *ampiezza* che indica che zona della superficie è influenzata dalla presenza della linea di carattere.

In figura Fig. 3 è possibile vedere il profilo che può assumere una superficie in presenza di una linea di carattere rappresentata dalla curva piana l e si può notare che la direzione del vettore profondità $\vec{\alpha}$ determina se si ha una depressione o una protuberanza mentre il suo valore intensivo determina l'incisività.

Inoltre $(\beta_1 + \beta_2)$ rappresenta l'ampiezza della zona di influenza che risulta essere delimitata da l_1 ed l_2 ; in particolare la superficie in prossimità della linea di carattere presenta simmetria o asimmetria di forma a seconda dell'uguaglianza o meno di β_1 e β_2 .

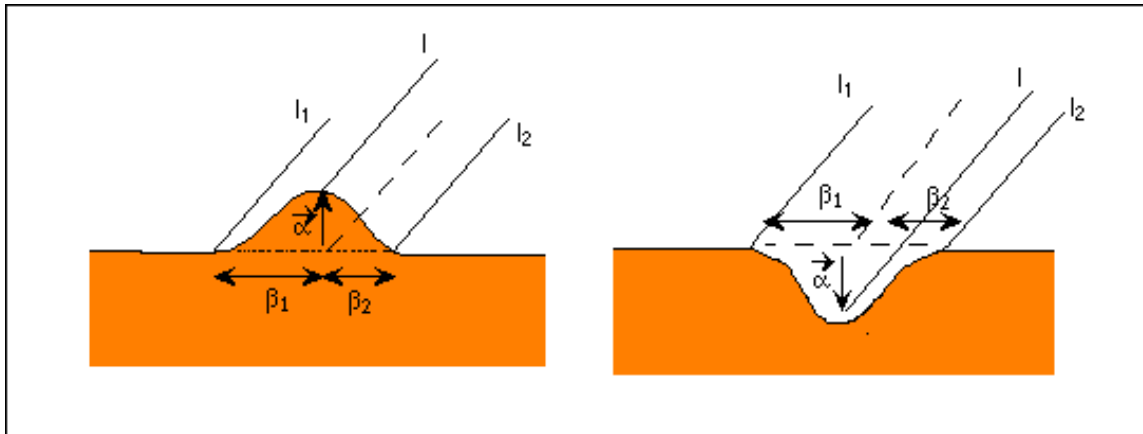


Fig. 3: Profili che può assumere una superficie in presenza di una linea di carattere

A partire da questi parametri fondamentali è stata identificata una sequenza di operazioni che permette di inserire una linea di carattere su una superficie senza dover modificare direttamente le entità che definiscono la geometria delle NURBS.

3.2 Modellazione mediante linee di carattere

I parametri geometrici identificati come fondamentali per caratterizzare una superficie con una linea di carattere hanno il vantaggio di risultare più naturali per uno stilista rispetto alle entità di base (punti di controllo, pesi, nodi) necessarie per definire una NURBS.

Una sequenza di operazioni che utilizza tali parametri permettendo di inserire una linea di carattere su una forma base è la seguente:

- costruzione, a partire dalla curva piana di input, delle curve che delimitano la zona di influenza (area della superficie influenzata dalla presenza della linea di carattere);
- proiezione delle tre curve sulla superficie di input per ottenere la linea di carattere e le linee che delimitano la zona di influenza (dette *linee di influenza*);
- posizionamento della linea di carattere alla profondità desiderata;
- eliminazione della parte di superficie compresa tra le linee che delimitano la zona di influenza;
- costruzione della nuova superficie in corrispondenza della linea di carattere.

In figura Fig. 4, come esempio, si possono vedere i risultati ottenuti eseguendo la precedente sequenza di operazioni per inserire una scanalatura (linea di carattere) su un vaso (superficie di base).

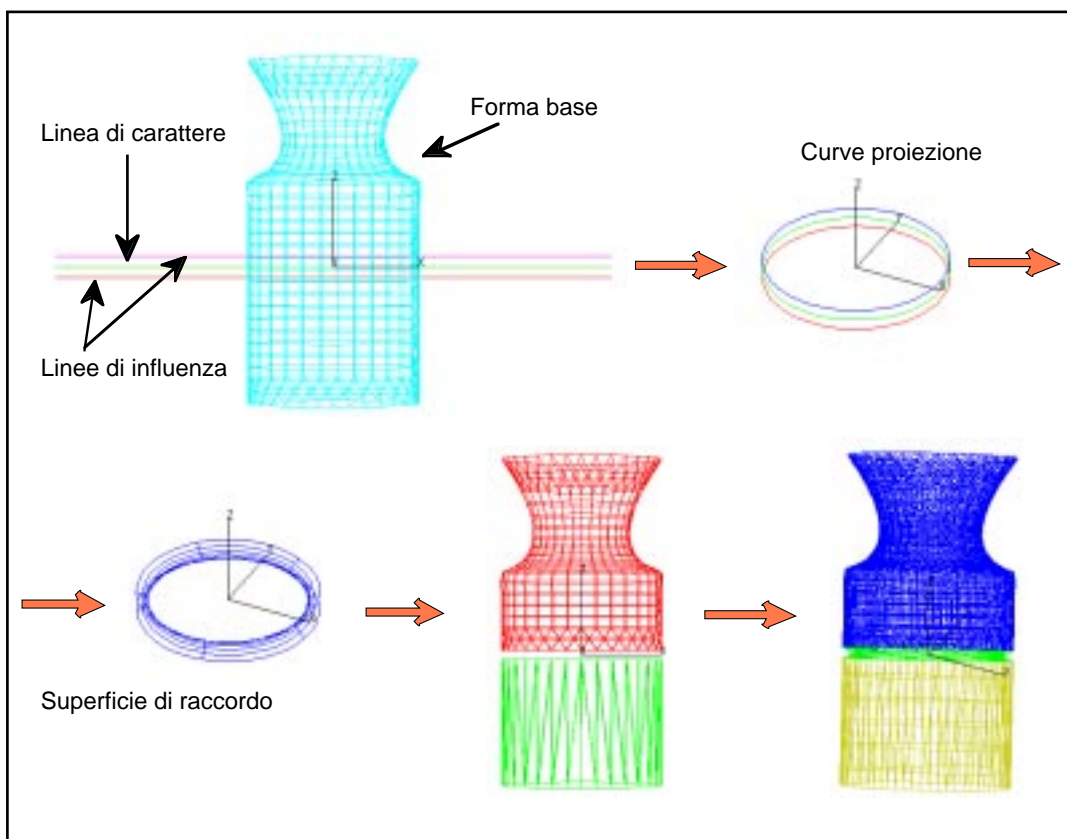


Fig. 4: Esempio di operazioni necessarie per modellare una linea di carattere

4 Il macro operatore *Make_character_line* ()

Dallo studio della sequenza di operazioni necessarie a modellare le linee di carattere è stato implementato un macro operatore che raggruppa le operazioni della sequenza e permette di inserire una linea di carattere direttamente su una data superficie semplicemente assegnando come dati di input la superficie da caratterizzare, la linea di carattere, un'ampiezza e un vettore profondità (Fig. 5).

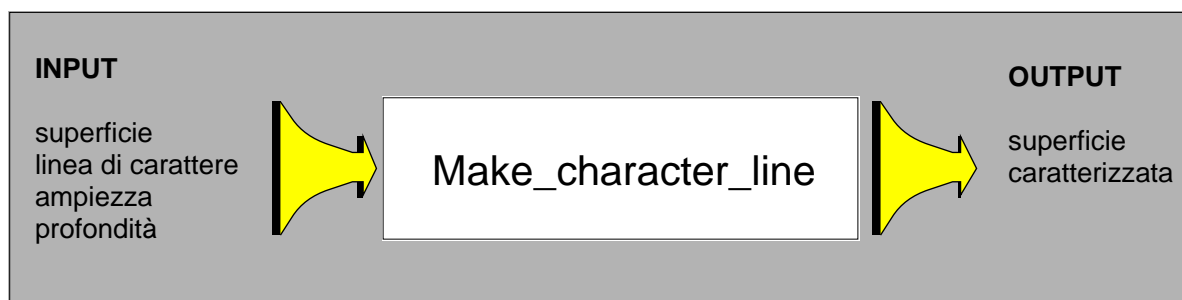


Fig. 5: Macro operatore `Make_character_line ()`

Questo macro operatore, che è stato denominato `Make_character_line ()`, è stato implementato in linguaggio C++ sfruttando le funzionalità del modellatore geometrico ACIS.

Con questo operatore è possibile caratterizzare direttamente e in modo naturale una superficie con una o più linee di carattere specificando solo alcuni parametri geometrici.

In figura Fig. 6 si possono vedere alcuni esempi di applicazione dell'algoritmo ad una stessa forma base.

In particolare si può notare che, cambiando direzione del vettore profondità si può ottenere una scanalatura (depressione) o una nervatura (protuberanza) mentre variando il valore dell'ampiezza si può variare l'ampiezza della zona di superficie influenzata dalla presenza della linea di carattere. Si può anche notare che il macro operatore può essere applicato più volte ed è possibile scegliere una qualunque linea di carattere.

Pertanto è possibile ottenere una grande varietà di caratterizzazioni della stessa forma base semplicemente variando i parametri di input.

Per ulteriori dettagli si rimanda a [Meir97], [MeDe97].

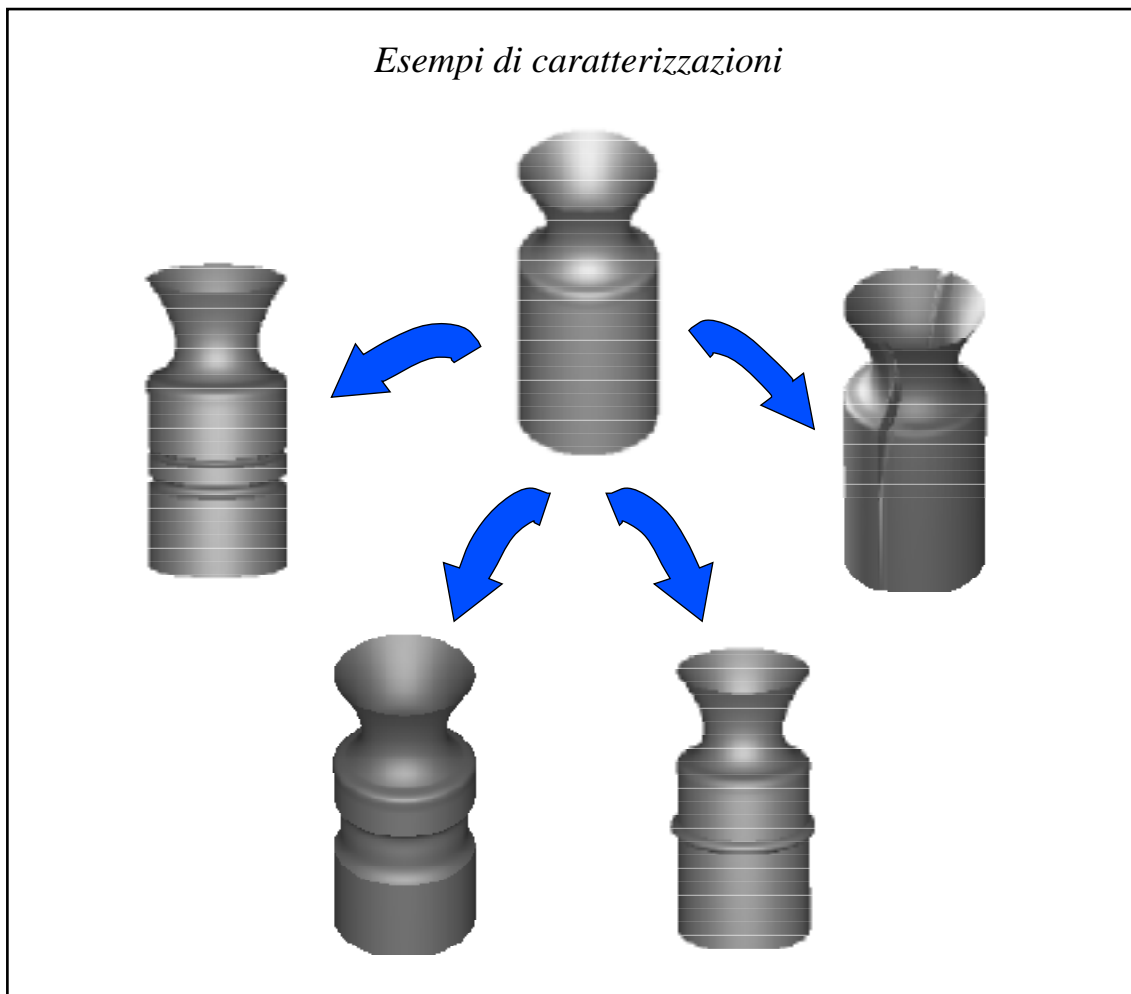


Fig. 6: *Esempi di applicazione del macro operatore `Make_character_line` () alla stessa forma base*

5. Conclusioni

L'aspetto estetico è un elemento importante al fine di determinare il successo di un prodotto e come tale gioca un ruolo fondamentale fin dalla fase di progettazione.

Le tecniche CAD diffusamente adoperate per la progettazione di prodotti costituiti, nella maggioranza dei casi, da superfici complesse usano solitamente rappresentazioni NURBS, che pur essendo un valido strumento di modellazione risultano complesse da manipolare. In particolare tali sistemi mancano di funzionalità di alto livello che facilitino la caratterizzazione estetica dei prodotti.

In questo articolo viene proposto un macro operatore per la modellazione di alcuni tipi di caratteristiche estetiche definibili mediante un insieme di parametri geometrici che risultano più naturali per gli stilisti ed evitano la manipolazione diretta di superfici NURBS.

Lo scopo è quello di limitare, dove possibile, l'utilizzo, ai fini della progettazione estetica di un prodotto, di entità matematiche di basso livello permettendo la manipolazione di superfici ad alto livello.

Attualmente, allo scopo di permettere un maggiore controllo sulla forma, si sta considerando la possibilità di estendere l'insieme dei parametri iniziali includendo condizioni di continuità/derivabilità agli estremi dell'area modificabile.

6. Ringraziamenti

Questo lavoro è stato parzialmente svolto nell'ambito del progetto europeo BRITE-EURAM, "FIORES: Formalisation and Integration of an Optimised Reverse Engineering Styling Workflow", progetto n. BRPR-CT96-0237.

Gli autori ringraziano la Dott.ssa B. Falcidieno e la Dott.ssa F. Giannini per le importanti discussioni sull'argomento.

7. Bibliografia

- [Acis96] Spatial Technology Inc., "*ACIS Geometric Modeler*", Version 2.0 - 3/96, U.S.A. (1996)
- [EIDi94] P.A. van Elsas, C.G.C. van Dijk, "*Fast Shape Designer: A surface modeler based upon hand sketched curves*", *Advances in computer-aided engineering, CAD/CAM research at Delft University of Technology, Report of the VF-project CAD/CAM*, Delft University Press, The Netherlands, ISBN 90-407-1017-1, pp. 137-145
- [Fior97] FIORES: Formalization and Integration of an Optimized Reverse Engineering Styling Workflow, "*Stylists Dictionary*", Rapporto Tecnico progetto europeo BRITE-EURAM, Luglio 1997
- [KrLu95] F.L.Krause, J.Luddemann, E.Rieger, "*Feature-based modelling of conceptual requirements for styling*", Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Institute für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (IWF), Berlin, Germany, 1995
- [LiSh96] H.Lipson, M.Shpitalni, "*An Interface for 3D Conceptual Design Based on Freehand Sketching*", *Product Modeling for Computer Integrated Design and Manufacture, TC5/WG5.2 International Workshop on Geometric Modeling in Computer Aided Design*, 19-23 Maggio 1996, Airlie, Virginia, USA, M.J.Pratt, R.D.Sriram, pp. 139- 148
- [MeDe97] M.Meirana, T.De Martino, "*Caratterizzazione estetica di superfici free-form*", Rapporto tecnico I.M.A. n. 12/97, C.N.R. di Genova, (1997)
- [Meir97] M.Meirana, "*Metodi matematici per la caratterizzazione di superfici nella progettazione estetica*", Tesi di laurea in matematica, Università di Genova, (1997)
- [Owen93] J.Owen, "*STEP An Introduction*", Information Geometers Ltd, Winchester UK, ISBN 1-874728-04-06, 1993
- [PiTi96] L.Piegl, W:Tiller, "*The NURBS book*", 2^a edizione, Springer Verlag, Berlin, 1996